

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА
імені О. М. Бекетова

В. Д. ШИПУЛІН

ОСНОВИ ГІС-АНАЛІЗУ

*Рекомендовано Міністерством освіти и науки України
як навчальний посібник для студентів спеціальності
"Геоінформаційні системи і технології"*

ХАРКІВ
ХНУМГ
2014

УДК 004:910:528.85(075)

ББК [73+26]я73-6

Ш63

Рецензенти:

Кучеренко Є. І., професор кафедри штучного інтелекту Харківського національного університету радіоелектроніки, доктор технічних наук, професор;

Палеха Ю. М., заступник директора з наукової роботи, керівник базового центру ГІС Київського державного Інституту проектування мостів, доктор географічних наук;

Черваньов І. Г., професор кафедри фізичної географії і картографії Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, доктор технічних наук, професор

*Гриф надано Міністерством освіти и науки України
(Лист № 1/11-8550 від 20.05.2013)*

Шипулін В. Д.

Ш63 Основи ГІС-аналізу: навч. посібник / В. Д. Шипулін ; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Х. : ХНУМГ, 2014. – 330 с.

ISBN 978-966-695-314-1

У посібнику представлені основні концепції і принципи просторового аналізу засобами географічних інформаційних систем (ГІС-аналізу). Розглянуто вихідні концепції, аналітичні засоби і задачі ГІС-аналізу, які становлять зміст навчальної дисципліни "ГІС-аналіз".

Посібник в значній мірі спирається на рішення Інституту дослідження систем навколишнього середовища (Environmental Systems Research Institute - ESRI), фахівці якого створили найбільш поширене у світі програмне забезпечення ГІС, й на роботи відомих вчених в галузі просторового аналізу.

Для студентів спеціальності "Геоінформаційні системи і технології", а так само студентів і фахівців в області комп'ютерних наук, управління територіями, земельними ресурсами та нерухомістю, комунальним господарством, транспортною інфраструктурою, енергетики, екології, в областях розробки, створення або дослідження складних просторових комплексів.

УДК 004:910:528.85(075)

ББК [73+26]я73-6

ISBN 978-966-695-314-1

© Шипулін В. Д., 2014

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2014

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	10
Частина 1. ВИХІДНІ КОНЦЕПЦІЇ	15
1. ВИЗНАЧЕННЯ ГІС-АНАЛІЗУ	16
1.1 Визначення й аспекти геопросторового аналізу.	16
1.2 ГІС-аналіз як підсистема ГІС.	17
1.3 Підходи до висвітлення ГІС-аналізу.	18
1.4 Питання та завдання для самопідготовки.	19
2. КЛАСИФІКАЦІЇ АНАЛІТИЧНИХ ЗАСОБІВ ГІС-АНАЛІЗУ	20
2.1 Класифікація аналітичних засобів ГІС-аналізу Кошкарьова О. В. і Тікунова В. С.	20
2.2 Класифікація аналітичних засобів ГІС-аналізу Іщук О. О., Коржнева М. М., Кошлякова О. Є.	21
2.3 Класифікації аналітичних засобів ГІС-аналізу Стена Аронофа.	21
2.4 Питання та завдання для самопідготовки.	21
3. КЛАСИФІКАЦІЇ ЗАДАЧ ГІС-АНАЛІЗУ	22
3.1 Класифікація задач ГІС-аналізу Енді Мітчелла	22
3.2 Класифікація задач ГІС-аналізу на основі концептуального об'єднання	23
3.3 Питання та завдання для самопідготовки.	25
4. ГЕОГРАФІЧНІ МОДЕЛІ РЕАЛЬНОГО СВІТУ.	26
4.1 Типи географічних моделей реального світу.	26
4.1.1 Визначення просторового моделювання.	26
4.1.2 Модель даних і модель географічного процесу. ...	26
4.2 Аналогові й цифрові моделі.	27
4.3 Дискретні й безперервні моделі	29
4.4 Індивідуальні й агреговані моделі	31
4.5 Статичні й динамічні моделі.	32
4.6 Клітинні автомати.	33
4.7 Агентні моделі.	33
4.8 Концептуальна модель вирішення просторових задач ..	34
4.9 Питання та завдання для самопідготовки	39

Частина 2. АНАЛІТИЧНІ ЗАСОБИ ГІС-АНАЛІЗУ	40
5. ФУНКЦІЇ ВИМІРЮВАННЯ.	41
5.1 Вимірювання на векторних даних.	41
5.1.1 Визначення координат.	41
5.1.2 Визначення довжини лінії.	44
5.1.3 Визначення площі полігона.	45
5.2 Вимірювання на растрових даних.	46
5.3 Питання та завдання для самопідготовки.	46
6. ФУНКЦІЇ ВИБОРУ ДАНИХ.	47
6.1 Інтерактивний просторовий вибір даних.	47
6.2 Просторовий вибір за атрибутивними умовами.	47
6.3 Просторовий вибір на підставі топологічних відношень	48
6.4 Питання та завдання для самопідготовки.	49
7. ФУНКЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ.	50
7.1 Цілі автоматизованої класифікації за атрибутами.	50
7.2 Методи автоматизованої класифікації за атрибутами . . .	50
7.3 Питання та завдання для самопідготовки.	53
8. ФУНКЦІЇ ОВЕРЛЕЙНІ	54
8.1 Визначення й загальна характеристика оверлейних функцій.	54
8.2 Булева алгебра в топологічному накладенні.	56
8.3 Векторні оверлейні оператори.	57
8.3.1 Класифікація векторних оверлейних операцій.	57
8.3.2 Алгоритми векторних оверлейних операцій.	60
8.3.3 Базові оверлейні операції векторних моделей.	63
8.4 Растрові оверлейні оператори.	66
8.5 Питання та завдання для самопідготовки.	69
9. ФУНКЦІЇ ОКОЛУ.	70
9.1 Визначення околу.	70
9.2 Операції околу в векторних моделях.	71
9.2.1 Генерування буферних зон.	71
9.2.2 Генерування полігонів Тіссена.	76
9.3 Операції околу в растрових моделях.	76
9.3.1 Функції фокальної статистики.	77
9.3.2 Функції розповсюдження.	79
9.3.3 Функції розподілу.	83

9.4	Питання та завдання для самопідготовки	85
10.	ФУНКЦІЇ ЗВ'ЯЗНОСТІ.	86
10.1	Визначення й характеристика мережі.	86
10.2	Знаходження кращого шляху.	88
10.3	Розділення мережі.	89
10.4	Питання та завдання для самопідготовки.	93
	Частина 3. ЗАДАЧІ ГІС-АНАЛІЗУ	94
11.	АНАЛІЗ МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ.	95
11.1	Типи задач і цілі аналізу місця розташування.	95
11.1.1	Розуміння місця і місця розташування.	95
11.1.2	Типи вирішуваних задач при аналізі місця розташування.	96
11.2	Ідентифікація географічних об'єктів.	97
11.2.1	Основні типи географічних об'єктів.	97
11.2.2	Геометричні об'єкти високого рівня.	101
11.2.3	Аналіз геометрії об'єктів.	106
11.2.4	Типи атрибутивних даних.	111
11.3	Візуальний аналіз місця розташування.	112
11.3.1	Задачі візуального аналізу.	112
11.3.2	2D візуалізація даних.	114
11.3.2.1	Розуміння 2D візуалізації даних.	114
11.3.2.2	Програмні засоби 2D символізації.	116
11.3.3	3D візуалізація даних.	120
11.3.3.1	Розуміння 3D візуалізації даних.	120
11.3.3.2	Типи 3D моделей.	122
11.3.3.3	Категорії алгоритмів 3D візуалізації.	125
11.3.3.4	Програмні засоби 3D символізації.	126
11.4	Аналіз кількісних даних місця розташування.	130
11.4.1	Розуміння кількісних даних.	130
11.4.2	Відображення кількісних даних.	134
11.5	Аналіз щільності об'єктів.	136
11.5.1	Розуміння щільності об'єктів і підходів до їхнього моделювання.	136
11.5.2	Моделювання щільності дискретними областями	137
11.5.3	Моделювання щільності безперервними полями	138
11.5.3.1	Поняття "поверхня щільності".	138
11.5.3.2	Створення поверхні щільності простим методом.	139

11.5.3.3	Створення поверхні щільності методом ядра.	141
11.5.3.4	Параметри розрахунку величини щільності	143
11.5.3.5	Відображення щільності на карті	146
11.6	Аналіз оточення.	148
11.6.1	Сутність аналізу оточення.	148
11.6.1.1	Розуміння аналізу оточення.	148
11.6.1.2	Міри віддаленості.	149
11.6.1.3	Способи вимірювання віддаленості	149
11.6.1.4	Інформація, що отримується в результаті аналізу.	151
11.6.2	Використання відстані по прямій лінії.	151
11.6.2.1	Використання буферної зони.	152
11.6.2.2	Вибір об'єктів у межах заданої відстані.	153
11.6.2.3	Використання дистанційної поверхні.	155
11.6.3	Використання відстані або витрат по мережі.	156
11.6.3.1	Призначення мережного шару.	156
11.6.3.2	Оцінка параметрів вуличної мережі	157
11.6.3.3	Вибір об'єктів оточення.	159
11.6.4	Використання витрат по поверхні.	161
11.6.4.1	Створення поверхні витрат.	162
11.6.4.2	Розрахунок витрат на переміщення.	164
11.6.4.3	Модифікація поверхні витрат.	165
11.7	Питання та завдання для самопідготовки.	167
12.	ПОШУК МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ, ЯКЕ ЗАДОВОЛЬНЯЄ ПРОСТОРОВИМ УМОВАМ.	168
12.1	Розуміння місця розташування, яке задовольняє просторовим умовам.	168
12.2	Пошук місця розташування шляхом побудови запиту	169
12.3	Пошук місця розташування шляхом комбінування аналітичних засобів.	172
12.3.1	Пошук місця розташування в дискретній моделі простору.	172
12.3.1.1	Пошук місця розташування векторними інструментами оверлейного аналізу.	172
12.3.1.2	Пошук місця розташування векторними інструментами аналізу близькості.	174
12.3.2	Пошук місця розташування в безперервній моделі простору.	178

12.3.2.1	Пошук місця розташування растровими інструментами оверлейного аналізу.	179
12.3.2.2	Пошук місця розташування растровими інструментами аналізу близькості.	181
12.3.3	Пошук місця розташування в мережній моделі простору.	187
12.3.3.1	Типи задач пошуку місця розташування в мережній моделі простору.	187
12.3.3.2	Пошук оптимального маршруту.	188
12.3.3.3	Пошук найближчого засобу обслуговування.	189
12.3.3.4	Визначення зони обслуговування.	190
12.3.3.5	Створення матриці витрат джерело-призначення.	192
12.3.3.6	Маршрутизація парку транспортних засобів.	193
12.3.3.7	Пошук місць розміщення-розподілу об'єктів.	195
12.4	Питання та завдання для самопідготовки.	198
13.	АНАЛІЗ ПРОСТОРОВИХ ЗМІН.	199
13.1	Сутність аналізу просторових змін.	199
13.2	Аспекти аналізу змін.	201
13.2.1	Типи змін.	201
13.2.2	Типи об'єктів просторових змін.	201
13.2.3	Час спостережень.	203
13.2.4	Масштаб і швидкість зміни.	206
13.3	Підходи до аналізу просторово-часових змін.	207
13.4	Інструменти аналізу просторово-часових змін.	209
13.5	Способи відображення просторових змін на карті.	214
13.5.1	Створення часових рядів.	215
13.5.2	Створення карт стеження.	217
13.5.3	Відображення кількісної оцінки змін	220
13.6	Питання та завдання для самопідготовки	224
14.	АНАЛІЗ ПРОСТОРОВИХ ПАТЕРНІВ.	225
14.1	Розуміння просторових патернів.	225
14.2	Аналіз просторових патернів точкових географічних об'єктів.	227
14.2.1	Види просторового розташування точкових об'єктів.	227

14.2.2	Методи аналізу точкових патернів.	228
14.2.2.1	Аналіз щільності.	229
14.2.2.2	Аналіз найближчого сусіда.	229
14.2.2.3	Аналіз квадратів.	232
14.2.2.4	Аналіз полігонів Тіссена.	235
14.2.3	Аналіз просторових відносин із іншими об'єктами.	236
14.3	Аналіз просторових патернів лінійних об'єктів.	238
14.3.1	Щільність ліній.	239
14.3.2	Відстані до найближчих сусідів, інтервали перетину ліній, міри розташування ізоліній.	239
14.3.3	Спрямованість лінійних об'єктів.	242
14.3.4	Зв'язність лінійних об'єктів.	245
14.3.5	Модель гравітації.	248
14.4	Аналіз просторових патернів полігональних об'єктів . . .	249
14.4.1	Види просторових патернів полігональних об'єктів.	249
14.4.2	Просторова залежність і просторова автокореляція.	251
14.4.3	Матриця близькості полігонів.	254
14.4.4	Статистика з'єднань.	254
14.4.5	Індекс І Морана.	257
14.4.6	Коефіцієнт С Гірі.	258
14.5	Аналіз просторових патернів безперервних явищ.	259
14.5.1	Безперервні явища, або поля.	259
14.5.2	Моделі представлення поверхонь.	260
14.5.3	Розуміння інтерполяції поверхонь.	262
14.5.4	Методи інтерполяції поверхонь.	264
14.5.4.1	Метод "Обернено зважені відстані".	264
14.5.4.2	Метод "Природній окіл".	266
14.5.4.3	Метод "Тренд".	267
14.5.4.4	Метод "Сплайн".	269
14.5.4.5	Метод "Крігінг".	270
14.5.4.6	Метод "Топо в растр".	274
14.5.4.7	Порівняння методів інтерполяції поверхонь	274
14.5.5	Аналіз растрових моделей поверхонь.	275
14.5.6	Розширений аналіз зі спільним використанням растрових і векторних даних.	282
14.6	Питання та завдання для самопідготовки.	287

15. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВИХ СЦЕНАРІЇВ.	288
15.1 Розуміння моделювання просторових сценаріїв.	288
15.2 Оцінка недостовірності результатів при моделюванні просторових сценаріїв.	289
15.3 Моделювання сценаріїв "Що, коли..?" шляхом комбінування аналітичних засобів.	296
15.3.1 Приклади моделювання сценаріїв "Що, коли..?" при надзвичайних ситуаціях.	297
15.3.2 Приклади моделювання сценаріїв "Що, коли..?" в територіальному розвитку.	299
15.3.3 Приклади моделювання сценаріїв "Що, коли..?" при розміщенні об'єктів.	301
15.4 Моделювання сценаріїв "Що, коли..?" спеціалізованими засобами.	304
15.4.1 Система підтримки планування What if?	304
15.4.1.1 Загальний опис.	304
15.4.1.2 Використання СПП "Що, коли..?"	307
15.4.2 Приклади моделювання сценаріїв "Що, коли..?" в територіального розвитку спеціалізованими засобами.	316
15.5 Питання та завдання для самопідготовки.	321
ПІСЛЯМОВА.	322
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОПИС.	324
Використані джерела.	324
Рекомендовані джерела для самостійного вивчення.	330

ПЕРЕДМОВА

Географічні інформаційні системи та технології затребувані в багатьох сферах людської діяльності завдяки породжуваному ними потужному технічному, економічному і соціальному ефекту. Виходячи з накопиченого досвіду, знання можливостей і сфер застосування ГІС, "можна виділити кілька загальних категорій, через які реалізуються переваги ГІС [1].

- *Зниження собівартості за рахунок більшої ефективності.* Це пов'язано як з успішним виконанням місії (тобто зі скороченням загального обсягу робіт за рахунок автоматизації та оптимізації робочих процесів), так і з поліпшенням (підвищенням якості) самої місії. Наочним прикладом тут є холдингова компанія Sears (мережа центрів роздрібної торгівлі, третій за величиною рітейлер у США), котра впровадила ГІС у свої логістичні операції і швидко отримала вражаючі вигоди. Компанії вдалося значно, майже на 75 % скоротити час, що витрачається диспетчерами на розробку маршрутів доставки товарів. Крім того, істотно, на 12–15 % скоротилася вартість доставки за рахунок скорочення часу на маршрутах, які були оптимізовані за допомогою ГІС. Також покращилася якість обслуговування клієнтів, скоротилося число повторних візитів у одні і ті ж місця, швидше і чіткіше стали складатися графіки розвезення товарів і оповіщатися одержувачі вантажу.
- *Удосконалення процесу прийняття рішень.* Це найчастіше пов'язано з прийняттям кращих рішень щодо місця розташування. Типовими прикладами є пошук підходящої нерухомості, вибір маршрутів/коридорів транспортних магістралей, планування і зонування території, охорона природи, розвідка і видобуток природних ресурсів і т. д. Люди, в тому числі керівники, починають усвідомлювати, що прийняття коректних, обґрунтованих рішень про оптимальне місце розташування є запорукою успішної діяльності. Правильність цієї думки підтверджують і професіонали маркетингу, що підкреслюють критично важливе значення правильного вибору місця бізнес-діяльності для успішного розвитку.
- *Поліпшення взаємодії.* Надані ГІС електронні карти та засоби візуалізації дуже корисні для розуміння ситуації, обговорення обстановки і проектних рішень. По суті, вони являють собою нову

універсальну мову - спосіб і засіб спілкування між співробітниками різних відділів, організацій, професійних дисциплін, та й усього суспільства.

- *Більш надійне створення та зберігання географічної інформації.* Багато організацій відповідальні за підтримання офіційних записів про географічний статус об'єктів та його зміни. Прикладами соціальної сфери є зонування території, дані переписів, відомості про землеволодіння, адміністративні межі й ін. Приклади з точки зору фізичної географії включають інвентаризацію лісів, біологічних ресурсів, вимірювання стану природного середовища, дані гідрометеорологічних спостережень, відомості різних кадастрів, реєстрів, просторових оцінок, розвідки корисних копалин.
- *Управління з позицій географічного підходу.* І в урядових організаціях, і в комерційних компаніях ГІС стає все важливішим засобом для кращого розуміння того, що відбувається на підвідомчих територіях, в зонах їх інтересів і відповідальності. Керівники й виконавці верхньої ланки використовують інформаційні ГІС-продукти для взаємодії та узгодження дій. Ці продукти надають візуальне робоче середовище для опрацювання концепцій, розуміння і відстеження ситуації, контролю виконання розпоряджень та приписів. Прикладами можуть служити обговорення та наради з різних питань, де обов'язковий облік географічних чинників. Сюди належать питання взаємин і координації дій у сфері землекористування, боротьби з правопорушеннями, охорони навколишнього середовища, захисту населення від наслідків надзвичайних ситуацій, гарантування безпеки, вибору та аналізу варіантів стратегій розвитку та ін."

Ці та інші переваги від впровадження геоінформаційних систем у свою чергу стимулюють продовження бурхливого розвитку ГІС. Великі зміни постійно відбуваються в програмному та технічному забезпеченні ГІС, у розумінні місця, ролі та можливостей ГІС.

Слід зазначити, що *цей ефект створюється багато в чому завдяки використанню ГІС-аналізу*, який відіграє особливу роль у галузі геоінформаційних систем.

У зв'язку зі зростанням інтересу до ГІС стає гострою потреба в книгах. Сьогодні опубліковано безліч літературних джерел з ГІС, в тому числі з ГІС-аналізу, велика частина яких подана англійською мовою. Спектр охоплення проблеми вельми широкий – від одиничних статей з окремих питань до всебічних положень, наприклад, [19]. Це

справжній океан знань, в якому не легко орієнтуватися тим, хто вивчає ГІС. Величезна кількість предметних областей і задач ГІС-аналізу, підходів до їх вирішення, розроблених програмних аналітичних засобів зумовлюють складність цілісного висвітлення ГІС-аналізу.

Цей посібник становить скоріше вступ до ГІС-аналізу для початківців, а не вичерпну монографію. При написанні цього посібника ми прагнули дотримуватися наступних підходів:

- *Фокусування на концептуальному рівні.* ГІС-аналіз застосовують для рішення величезної кількості задач різних предметних областей. Висвітлення технічних деталей цих рішень в одному посібнику практично не можливо. У цьому посібнику представлено викладення рішень на концептуальному рівні, концентруючи увагу на методології та принципах, які менш недовговічні та краще підходять для того, щоб стати актуальними на кілька років. З цієї причини в цей посібник не включені лабораторні заняття. Вони, як передбачається, повинні бути розглянуті в спеціалізованих посібниках, які складають методичне забезпечення практикуму з ГІС-аналізу.
- *Системне і всебічне викладання.* Матеріали з ГІС-аналізу розміщені в різних книгах, підручниках, посібниках, журналах, статтях і презентаціях. У цьому посібнику представлена спроба організувати фрагментовані відомості з цих публікацій в логічній послідовності, що охоплюють всі головні технології та форми ГІС-аналізу, їх структури, альтернативи рішень і вплив на сфери застосування.
- *Легкість для розуміння.* ГІС-аналіз спирається на потужний математичний апарат й інструментарій інформаційних технологій. Тут представлена спроба передати наше розуміння області нескладною мовою і обдуману призначеною графікою. У посібник включено безліч прикладів реальних застосувань з літературних джерел, що пов'язують принципи ГІС-аналізу з рішеннями і допомагають читачам розуміти реальне значення просторового аналізу в різних сферах діяльності.
- *Підготовленість читача.* Зміст навчального посібника розраховано на те, що читач знайомий з основами геоінформаційних систем і технологій, наприклад, з навчальною дисципліною "Основи ГІС" [2].

Цей посібник належить до теоретичних основ навчального курсу ГІС-аналізу. Повний курс ГІС-аналізу повинен включати також роботу з програмними аналітичними засобами ГІС. Можна рекомендувати

вивчення розширень системи ArcGIS (ESRI), доступних в освоєнні модулів Spatial Analyst, 3D Analyst, Network Analyst, Geostatistical Analyst, а також аналітичних засобів геопроектингу.

Навчальний посібник складається з трьох частин:

- 1) вихідні концепції;
- 2) аналітичні засоби ГІС-аналізу;
- 3) задачі ГІС-аналізу.

Перша частина *"Вихідні концепції"* починається з визначення просторового аналізу, виділення його істотних аспектів. ГІС-аналіз визначається як геопросторовий аналіз, що виконується засобами геоінформаційних систем і технологій. Побудова цього навчального посібника спирається на системний підхід. Для вивітлення великої області ГІС-аналізу розглянуті, з одного боку, об'єкт і предмет аналізу, які складають суть задач ГІС-аналізу, і, з іншого боку, методологія ГІС-аналізу, яка визначається технологіями та інструментарієм дослідження. У зв'язку з цим зміст книги спирається на дві класифікації: класифікацію задач ГІС-аналізу, класифікацію аналітичних засобів ГІС-аналізу. Наведено загальний опис географічних моделей реального світу, які утворюють інформаційну основу ГІС-аналізу.

Друга частина *"Аналітичні засоби ГІС-аналізу"* знайомить читача з технологіями та інструментарієм ГІС-аналізу. На основі поширеної класифікації розглянуті базові аналітичні засоби, які є опорою геопросторового аналізу, – функції вимірювань, вибору даних, класифікації, оверлейні функції, функції околу, функції зв'язності.

Третя частина *"Задачі ГІС-аналізу"* спирається на класифікацію величезної кількості та надзвичайно великої різноманітності задач ГІС-аналізу. Розглянуто підходи до вирішення задач аналізу місця розташування, пошуку місця розташування, що задовольняє просторовим умовам, аналізу просторових змін, аналізу просторових патернів, моделювання просторових сценаріїв.

Для створення посібника використаний обширний набір літературних джерел, багато з яких самі по собі можуть бути цікавими об'єктами вивчення. Пропонований посібник написано на основі багаторічного досвіду викладання курсу "ГІС-аналіз" для студентів спеціальності "Геоінформаційні системи і технології", а також для майбутніх містобудівників, екологів, менеджерів у Харківській національній академії міського господарства. Використаний досвід академії розробок і впровадження ГІС-проектів для міста Харкова та інших міст. Посібник може бути корисним студентам спеціальностей комп'ютерних наук, а також фахівцям у сфері управління територіями,

земельними ресурсами та нерухомістю, комунальним господарством, транспортною інфраструктурою, в галузях енергетики, екології, розробки, створення або дослідження складних просторових комплексів.

Частина 1.

ВИХІДНІ КОНЦЕПЦІЇ

1. ВИЗНАЧЕННЯ ГІС-АНАЛІЗУ

1.1 ВИЗНАЧЕННЯ Й АСПЕКТИ ГЕОПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ

Геопросторовий аналіз – це процес пошуку просторових закономірностей у розподілі географічних даних і взаємозв'язків між об'єктами. Це визначення подано Енді Мітчелом в чудовому посібнику з ГІС-аналізу [3]. Геопросторовий аналіз є свого роду унікальною лінзою, через яку вивчаються події, структури й процеси, які відбуваються на землі або поблизу поверхні нашої планети [4]. В результаті аналізу географічної інформації отримують якісно нову інформацію й виявляють досі невідомі закономірності.

Мішель Ф. Гудчайлд в передмові до книги Енді Мітчелла [3] пише, що процес просторового аналізу нагадує розтягування гумової стрічки, коли після тривалої і важкої роботи з цифрування елементів карт, формування баз даних, виявлення помилок і трансформування інформації в різноманітні системи координат, нарешті решт одержують ефектний результат або знаходять оптимальне рішення.

Методи просторового аналізу працюють у ряді просторових і часових масштабів. При розгляді просторового аналізу наступні аспекти є суттєвими.

- *Область.* Областю геопросторового аналізу є поверхня Землі, оболонка над нею при аналізі топографії й атмосфери, оболонка під нею при аналізі ґрунтових вод і геології.
- *Масштаб.* Масштаб сутностей геопросторового аналізу простирається від невеликих об'єктів (наприклад, записи археологів про місця знахідок шматочків керамічних виробів розміром декілька сантиметрів або меж власності виміряних до міліметра) до глобальних (наприклад, аналіз температури поверхні моря і глобального потепління).
- *Час.* Аналіз простягається в минулий час (наприклад, історичні дослідження міграції населення, вивчення структури археологічних місцезнаходжень або детальне картування руху континентів) і в майбутній час (наприклад, спроби передбачити напрямки ураганів, танення льодових або зростання міських районів).

Геопросторовий аналіз має відношення до проблеми "що" відбувається "де". Геопросторовий аналіз використовує географічну інформацію, яка є базовою інформацією для побудови на ній структур

і аргументів, які забезпечують повноту просторового аналізу. В принципі немає ніяких обмежень щодо складності просторових аналітичних методів, які, можливо, знайшли застосування в світі, і можуть бути використані для стимулювання цікавих ідей та підтримки практичних дій і рішень. Насправді деякі методи можуть бути простіші, корисніші і глибokiші, ніж інші.

1.2 ГІС-АНАЛІЗ ЯК ПІДСИСТЕМА ГІС

Геопросторовий аналіз виконували і раніше, в докомп'ютерний час. Відомі, наприклад, графічні рішення з використанням накладення прозорих карт одну на іншу. Одними з перших були дослідження доктора Джона Сноу [5] за допомогою карт кластерів спалаху холери, що трапилася в Лондоні 1854 року в районі Broad Street.

Сьогодні геопросторовий аналіз існує на стику між людиною і комп'ютером. Обидві частини в ньому відіграють важливу роль – з одного боку, шлях людської інтуїції зі всією його розпливчатістю і неформальністю, і з іншого боку, шлях формального, точного просторового аналізу світу.

Геоінформаційні системи відрізняються від інших інформаційних систем саме тим, що володіють ефективними можливостями аналізу просторових даних і на його основі виконують просторове моделювання об'єктів і явищ. ГІС є інструментом просторового аналізу. Майкл Н. Демерс надає особливого значення аналізу: "Підсистема аналізу – серце ГІС, заради чого ГІС існують" [6, с. 204] Іншими словами, ГІС-аналіз – це підсистема ГІС, а просторовий аналіз – це серце ГІС.

ГІС – це не просто комп'ютерна система для створення карт, хоча вона може створювати карти на різних рівнях, у різних проекціях. ГІС є аналітичним інструментом. Основною перевагою ГІС є те, що вона дозволяє визначити просторові відносини між об'єктами карти. ГІС не зберігає карту в будь-якому загальноприйнятому розумінні цього слова і не зберігає певний образ або уявлення про географічні області. Замість цього ГІС зберігає дані, за якими можна викреслити потрібний вид згідно з певною метою [6].

З урахуванням викладених аргументів тут прийнято наступне визначення: *ГІС-аналіз – це геопросторовий аналіз, що виконується засобами геоінформаційних систем і технологій.*

ГІС-аналіз – одна з головних функцій ГІС, яка виконує потужну роботу геопроецюінгу, щоб виробляти додаткову і аналітичну інформацію, використовуючи різні аналітичні засоби ГІС.

ГІС-аналіз є однією з найбільш цікавих сфер ГІС. Аналітичні можливості ГІС дозволяють отримати відповіді на безліч просторових запитів, вирішити велику кількість просторових задач у різних предметних областях. Використовуючи ГІС-аналіз, можна комбінувати інформацію з багатьох незалежних джерел і отримувати нові набори інформації (результати), застосовуючи багаті і витончені просторові оператори. Заснований на ГІС, просторовий аналіз відкриває нові шляхи до розуміння просторової неоднорідності та просторових залежностей, які можуть зробити просторовий аналіз багатим джерелом інформації.

1.3 Підходи до висвітлення ГІС-аналізу

У літературі використовують різні підходи до висвітлення ГІС-аналізу. Часто висвітлюються різні аналітичні функції або набори аналітичних функцій того чи іншого програмного продукту й під цим найчастіше розуміється просторовий аналіз. Наприклад, "Просторовий аналіз – група функцій, що забезпечують аналіз розміщення, зв'язків і інших просторових відносин просторових об'єктів, включаючи аналіз зон видимості/невидимості, аналіз сусідства, аналіз мереж, створення й обробку цифрових моделей рельєфу та ін." [7]. В інших випадках представляються вирішення окремих задач або набору задач просторового аналізу. Нарешті, можна зустріти виклад рішення задачі й одночасно функцій, які сприяють до вирішенню задачі. Все це говорить про відсутність єдиного підходу до викладу ГІС-аналізу.

Єдині позиції до висвітлення ГІС-аналізу можуть бути вироблені на основі системного підходу. У контексті системного підходу можна вважати, що аналіз – це процес, який включає об'єкт, предмет і методологію дослідження. Тому доцільно для системного висвітлення великої області ГІС-аналізу розглянути, з одного боку, об'єкт і предмет аналізу, які складають суть задач ГІС-аналізу, й, з іншого боку, методологію ГІС-аналізу, яка визначається технологіями та інструментарієм дослідження.

Таке розуміння підходів до висвітлення ГІС-аналізу визначило побудову цього навчального посібника. Зміст книги спирається на дві класифікації:

- класифікацію аналітичних засобів ГІС-аналізу,

- класифікацію задач ГІС-аналізу.

При цьому слід звернути увагу на органічний зв'язок об'єкта, предмета та методології дослідження. При розгляді задач ГІС-аналізу в багатьох випадках можуть бути розглянуті й засоби вирішення задач, а при розгляді засобів ГІС-аналізу інколи можуть розглядатися і сфери їх застосування. Спільне використання цих класифікацій істотно полегшує розуміння основної проблеми і подальший розвиток наукової теорії.

1.4 Питання та завдання для самопідготовки

- 1) Що розуміється під геопросторовим аналізом і ГІС-аналізом?
- 2) Наведіть характеристику системного підходу до висвітлення ГІС-аналізу.

2. КЛАСИФІКАЦІЇ АНАЛІТИЧНИХ ЗАСОБІВ ГІС-АНАЛІЗУ

Методологія ГІС-аналізу визначається технологіями та інструментарієм дослідження. Останнім часом спостерігається помітне зростання аналітичних та моделюючих функцій ГІС. Розвинені геоінформаційні системи містять багатий набір різноманітних аналітичних засобів для проведення операцій з географічними об'єктами. Наприклад, система ArcGIS (ESRI) включає доступні в освоєнні модулі Spatial Analyst, 3D Analyst, Network Analyst, Geostatistical Analyst і багато засобів геопроектингу. При цьому аналітичні засоби можуть бути як загального, так і спеціального призначення.

Існує декілька підходів для класифікації аналітичних засобів ГІС. Відсутність єдиної їхньої класифікації породжує різні трактування і погляди на суть аналітичного процесу взагалі.

2.1 КЛАСИФІКАЦІЯ АНАЛІТИЧНИХ ЗАСОБІВ ГІС-АНАЛІЗУ КОШКАРЬОВА О. В. І ТІКУНОВА В. С.

Відома класифікація Кошкарьова О. В. і Тікунова В. С. [8] ранжує існуючі методи обробки просторових даних, витримуючи звичайну послідовність дій, які виконуються аналітиком. Отже, все різноманіття просторових аналітичних операцій вони пропонують поділити на наступні групи:

- 1) переформатування (конвертація даних з формату у формат, з векторної форми в растрову або навпаки);
- 2) трансформацію проєкцій і перерахунок в інші системи координат;
- 3) методи обчислювальної геометрії;
- 4) накладання шарів;
- 5) аналітичні та графоаналітичні методи;
- 6) методи моделювання.

При безперечній всеосяжності наведеної класифікації дещо неприродним є об'єднання в групи звичайних операцій з підготовки даних з власне аналітичними функціями.

2.2 КЛАСИФІКАЦІЯ АНАЛІТИЧНИХ ЗАСОБІВ ГІС-АНАЛІЗУ

Іщук О. О., Коржнєва М. М., Кошлякова О. Є.

У посібнику "Просторово аналіз и моделювання в ГІС" [4] автори Іщук О. О., Коржнєв М. М., Кошляков О. Є. використовують наступну класифікацію аналітичних операцій з географічними об'єктами:

- 1) аналіз геометрії об'єктів;
- 2) аналіз місця розташування;
- 3) дистанційний аналіз;
- 4) класифікація;
- 5) картографічне накладання;
- 6) аналіз поверхонь.

2.3 КЛАСИФІКАЦІЯ АНАЛІТИЧНИХ ЗАСОБІВ ГІС-АНАЛІЗУ

СТЕНА АРОНОФФА

У ряді фундаментальних робіт [53], [54], [55] та інших широкого застосування набула класифікація базових аналітичних засобів на основі виконуваних функцій, запропонована Стеном Ароноффом (Stan Aronoff) [56]. Відповідно до цієї класифікації базові аналітичні засоби згруповані в 4 великі категорії:

- 1) функції вимірювання, вибору даних, класифікації;
- 2) оверлейні функції;
- 3) функції околиці;
- 4) функції зв'язності.

Деякі функції, які не ввійшли в цю класифікацію, є спеціальними функціями геопроектингу. Слід також мати на увазі, що в багатьох випадках процес аналізу виконується за допомогою використання набору як аналітичних, так і спеціальних операцій.

У цьому навчальному посібнику аналітичні засоби ГІС-аналізу викладаються згідно з класифікацією Стена Ароноффа, яка одержала широке застосування.

2.4 ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПІДГОТОВКИ

- 1) Опишіть відомі класифікації аналітичних засобів ГІС-аналізу.

3. КЛАСИФІКАЦІЇ ЗАДАЧ ГІС-АНАЛІЗУ

Перевага геоінформаційної методології полягає в тому, що ГІС дозволяє ідентифікувати, підтримувати і управляти просторовими зв'язками між топологічними об'єктами, що представляють об'єкти реального світу, створювати нові об'єкти, зв'язки, пов'язувати нові атрибути, виконувати ГІС-аналіз.

Суть задач ГІС-аналізу визначає об'єкт і предмет аналізу. Об'єктом ГІС-аналізу є задачі, а предметом – цілі дослідження конкретної задачі. Наприклад, населення певної території є об'єкт аналізу, а щільність населення цієї території становить предмет аналізу. При постановці задачі часто об'єкт і предмет озвучують взаємопов'язано. Наприклад, визначити щільність населення на певній території.

Складність розгляду задач ГІС-аналізу полягає у їхній нелічennій кількості та надзвичайно великій різноманітності. Розгляд задач ГІС-аналізу може бути ефективним лише в контексті їх класифікації.

3.1 Класифікація задач ГІС-аналізу Енді Мітчелла

У посібнику з ГІС-аналізу Енді Мітчелла [3] подана класифікація задач просторового аналізу і засобів їхнього вирішення на основі мети дослідження. При цьому наголосується на призначенні кожного методу, а не інструменті, за допомогою якого вона буде досягнута. Ефективність просторового аналізу забезпечується органічним зв'язком системи картографічного відображення та числової інформації. У посібнику виділені найбільш загальні задачі геопросторового аналізу, які щодня виконуються людьми на їхніх робочих місцях:

- 1) аналіз місця розташування об'єктів – пошук, де розміщуються об'єкти (Mapping where things are);
- 2) аналіз розподілу числових показників – виявлення, де більше, де менше (Mapping the most and least);
- 3) побудова карт щільності – картографування щільності (Mapping density);
- 4) пошук об'єктів усередині області – пошук того, що всередині (Finding what's inside);
- 5) аналіз околу – пошук того, що поруч (Finding what's nearby);
- 6) аналіз просторових змін – картографування змін (Mapping change).

Вирішення цих питань за допомогою власних засобів ГІС та залучених зовнішніх моделюючих систем дає, наприклад, можливість:

- обґрунтувати місце розташування навчального закладу або бізнес-центру з урахуванням багатьох, в т. ч. і просторових чинників;
- прогнозувати розвиток і наслідки соціологічних і економічних ситуацій, стихійних лих і аварій природного техногенного характеру у просторі та часі;
- знайти оптимальну трасу трубопроводу або шляхопроводу, який проектується;
- визначити місце оптимального розташування нового родовища, а також обчислити його економічну ефективність;
- оцінити ефективність діяльності міліції, служб охорони навколишнього середовища, пожежників і т. п.

3.2 КЛАСИФІКАЦІЯ ЗАДАЧ ГІС-АНАЛІЗУ НА ОСНОВІ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ОБ'ЄДНАННЯ

Величезна кількість і надзвичайно велика різноманітність задач ГІС-аналізу є причиною використання найбільш прийнятного підходу до їх класифікації – на основі концептуального об'єднання (групування за деякою концепцією). За Граді Буч [9] концептуальне об'єднання – сучасна варіація класичного підходу. Вона виникла із спроб формального представлення знань. При такому підході спочатку формують концептуальні описи класів, і потім об'єкти класифікуються згідно з описом.

У фундаментальній роботі ESRI "Розуміння ГІС: метод ArcInfo" [10] безліч питань, на які відповідає розвинена ГІС, згруповані в 5 узагальнених категорій (у порядку зростання складності):

- 1) Location: What is at ...? (Місцеположення: Що є в даному місці?);
- 2) Condition: Where is it? (Умова: Де це є?);
- 3) Trends: What has changed since ...? (Тенденції: Що змінилося з ...?);
- 4) Patterns: What spatial patterns exist (Патерни: Які просторові патерни існують?);
- 5) Modeling: What if ...? (Моделювання: Що, коли ...?)

У цьому навчальному посібнику вказані категорії питань покладені в основу класифікації задач ГІС-аналізу відповідно до концептуального об'єднання. Відповідні категоріям питань класи задач ГІС-аналізу мають такий концептуальний опис.

- 1) *Аналіз місця розташування.* Цьому класу задач відповідає просторовий запит: що існує в конкретному місці на поверхні Землі? Розташування може бути описано багатьма способами, використовуючи, наприклад, назву місця, поштову адресу або географічні координати. Щоб побачити, де розташований і як виглядає певний об'єкт, використовуються карти. На карті наочно представлений характер просторового розміщення об'єктів, а це дозволяє виявити зв'язки між ними і краще зрозуміти досліджувану область. Тільки побачивши місцезнаходження об'єктів, можна зрозуміти деякі причини просторових взаємозв'язків.
- 2) *Пошук місця розташування, яке задовольняє просторовим умовам.* Цьому класу завдань відповідає просторовий запит: де задовольняються конкретні просторові умови? Простий запит на місцеположення об'єкта складається з однієї умови. Для отримання відповіді досить виконати одну штатну операцію. Складний запит на місцеположення об'єкта може включати певний набір умов. Для отримання відповіді вже потрібне використання кількох операцій просторового аналізу. Наприклад, а) де знаходиться майданчик для будівництва площею 2 га, в межах до 200 м від дороги районного значення з ґрунтами несучої здатності до одного кг на кв. см? б) обґрунтувати місце розташування торговельного, навчального закладу або бізнес-центру з урахуванням багатьох, в т. ч. просторових чинників; в) знайти оптимальну трасу трубопроводу або шляхопроводу, який проектується.
- 3) *Аналіз просторових змін.* Цьому класу задач відповідає запит: що просторово змінилося за вказаний період? Відповідь на це питання – це спроба визначити зміни, що відбулися в просторі й часі, тенденції цих змін на певній території. Наприклад, яка тенденція поширення грипу в місті, які нові об'єкти побудовані за останній рік, який напрямок розширення урбанізованих територій? Зберігаючи і зіставляючи карти різних дат, ГІС може виконувати часовий аналіз. Аналіз просторових змін може включати обидва обидва аналізу для знаходження змін на території з часом.
- 4) *Аналіз просторових патернів.* Цьому класу задач відповідає просторовий запит: які просторові патерни або розподіли існують?

Наприклад, скільки є аномалій, які не відповідають нормальному розподілу, і де вони знаходяться? Який розподіл населення в місті? Які ділянки дороги є найбільш небезпечними? Який розподіл вартості нерухомості на території? Виділення просторових структур – це складне питання, що вимагає застосування арсеналу потужних засобів просторового аналізу.

- 5) *Моделювання просторових сценаріїв.* Цьому класу завдань відповідає просторовий запит: "Що станеться, коли ...?" Наприклад, що станеться, коли інтенсивність дощу буде критичною? Які будуть витрати, якщо вулицю розширити на 14 м.? Як зміниться транспортне сполучення, якщо прибрати трамвай з вулиці Пушкінської? У таких випадках користувач використовує модель для прогнозування і карти потенційного впливу. Застосування такої моделі дозволяє побудувати гіпотетичний просторовий сценарій і прогнозувати розвиток і наслідки соціологічних й економічних ситуацій, стихійних лих і аварій природного техногенного характеру в просторі та часі.

Класифікація задач ГІС-аналізу на основі концептуального об'єднання покладена в основу змісту 3 розділу цього посібника.

3.3 ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПІДГОТОВКИ

- 1) Опишіть класифікації задач ГІС-аналізу.

4. ГЕОГРАФІЧНІ МОДЕЛІ РЕАЛЬНОГО СВІТУ

4.1 ТИПИ ГЕОГРАФІЧНИХ МОДЕЛЕЙ РЕАЛЬНОГО СВІТУ

4.1.1 Визначення просторового моделювання

Географічні інформаційні системи моделюють наш світ [11]. Всі ГІС будуються на основі формальних моделей, що описують розміщення у просторі об'єктів і процесів. Географічні моделі нашого світу утворюють інформаційну основу ГІС-аналізу.

Майкл Ф. Гудчайлд, директор Національного центру географічної інформації та аналізу Каліфорнійського університету в Санта-Барбарі, відомий фахівець у галузі ГІС-аналізу, опублікував наступне розуміння моделювання і типів географічних моделей реального світу [12]: *"Моделювання може бути визначено в рамках географічних інформаційних систем як виконувані операції ГІС всякий раз, коли намагаються імітувати географічні процеси в реальному світі в момент часу або протягом тривалого періоду"*.

Моделі є корисними і використовуються в широкому спектрі застосувань ГІС від простої оцінки до передбачення майбутнього ландшафту. У минулому моделювання часто було необхідним в парі з ГІС зі спеціальним програмним забезпеченням, призначеним для функціонування у сфері динамічного моделювання. Але із зростанням потужності апаратного і програмного забезпечення ГІС тепер можна повернутися до розгляду цього співвідношення. Моделювання в ГІС порушує низку важливих питань, включаючи питання про перевірку ролі масштабу, точності, проектування об'єктів інфраструктури з метою сприяння обміну моделями.

4.1.2 Модель даних і модель географічного процесу

Термін "моделювання" використовується в декількох різних контекстах у світі ГІС, тому доцільно роз'яснити його зміст, хоча б в контексті даної книги. Є два особливо важливих значення [12].

- По-перше, *модель даних* визначається як набір очікувань про дані – шаблон, у який дані, необхідні для конкретного застосування,

можуть бути встановлені. Наприклад, таблиця – дуже простий приклад моделі даних; рядки таблиці відповідають групі або класу реальних можливостей, таких як округи, озера або дерева, а стовпці відповідають різним характеристикам об'єктів, іншими словами, атрибутам. Цей шаблон таблиці виявиться дуже корисним, оскільки вона забезпечує оптимальний збіг характеру даних у багатьох застосуваннях ГІС. По суті, моделі даних ГІС дозволяють користувачеві створювати уявлення про те, як виглядає світ.

- По-друге, *модель* (без кваліфікаційних даних) є представленням одного чи кількох *процесів*, які, як вважають, відбуваються в реальному світі, іншими словами, про те, як влаштований світ. Модель являє собою комп'ютерну програму, яка приймає цифрове представлення одного або декількох аспектів реального світу і перетворює їх, щоб створити нове уявлення ".

При комплексному підході необхідно розрізняти такі типи географічних моделей реального світу [12]:

- аналогові й цифрові моделі;
- дискретні й безперервні моделі;
- індивідуальні й агреговані моделі;
- статичні й динамічні моделі;
- клітинні автомати;
- агентні моделі.

4.2 АНАЛОГОВІ Й ЦИФРОВІ МОДЕЛІ

Аналогова модель

Аналогові моделі навіть є найпоширенішим типом. Аналогова модель визначається як масштабна модель, уявлення системи реального світу, в якій кожна частина реальної системи змодельована у мініатюрі.

Дуже розповсюдженими аналоговими моделями реального світу є паперові топографічні, географічні й тематичні карти. Архітектори, проектуючи хмарочоси, створюють макети для того, щоб дослідити наслідки впливу сильного вітру на запропоновані структури, розміщуючи моделі в аеродинамічних трубах, щоб спостерігати деформації під дуже високою напругою. Ландшафтний архітектор Ян МакХарг розробив свої оригінальні методи екологічного планування з використанням аналогової версії ГІС. Кожен з важливих

факторів представлений у вигляді прозорої карти з темнішими областями, що зображують райони з істотнішим впливом певного фактора. Карти були складені над джерелом світла; світлі області, які з'явилися, відповідали областям найменшого впливу й, таким чином, краще підходили для розвитку. Аналогові моделі відіграють ключову роль у розробці крил літаків, гребель і каналів, а також безлічі інших інженерних проектів.

Успіх аналогових моделей залежить від ступеня розширення системи, бо робота системи в масштабі моделі ідентична роботі реальної системи. Ключовим показником аналогової моделі є її масштаб або представницька фракція, співвідношення відстані між двома точками в моделі до відстані між відповідними точками в реальному світі. В аналоговій моделі всі аспекти системи повинні бути масштабовані на таке ж співвідношення для моделі, яка буде дійсною.

Цифрова модель

У цифровій або розрахунковій моделі всі операції проводяться з використанням комп'ютера. Дані зібрані в модель даних і закодовані з використанням різних схем кодування, які зменшують відповідні аспекти реального світу до структур з нулів та одиниць. Сама модель також кодується в такому ж обмеженому алфавіті, як комп'ютерна програма або програмне забезпечення. Цифрові моделі не мають представницької фракції, оскільки немає відстані в моделі у порівнянні з відстанню в реальному світі. Замість цього рівень географічної деталізації фіксується *просторовою роздільністю* або розміром найменшого просторового об'єкта, представленим в базі даних. Для растрових даних це розмір окремої чарунки або пікселя. Коли набір ГС-даних створюється шляхом цифрування паперової карти, корисно використовувати просте правило: просторова роздільність набору даних становить близько 0,5 мм в масштабі карти. Іншими словами, карта масштабу 1:24000 має просторову роздільність близько 12 м. Коли така інформація, що надходить від векторних даних, недоступна, важко присвоїти значення просторової роздільності, бо розмір найменшого полігона може бути визначений представленим явищем, а не зображенням. Наприклад, на карті штатів США найменшим штатом завжди буде штат Род-Айленд, незважаючи на детальне цифрування його кордонів.

Часова роздільність

Крім просторової роздільності, часова роздільність також має велике значення в динамічних моделях, оскільки вона визначає довжину часового кроку моделі. Будь-яка динамічна модель походить від дискретної послідовності таких кроків, кожен з яких представляє певний проміжок часу, бо програма намагається передбачити стан системи в кінці часового кроку на основі введення на початку часового кроку. Просторова і часова роздільності повинні відповідати реальному характеру модельованого процесу. Наприклад, у моделюванні атмосфери для прогнозів погоди немає сенсу використовувати просторову роздільність 1 м або часову роздільність 1 сек, тому що процеси, що впливають на атмосферу, реагують на зміни. З іншого боку, 1 м та 1 сек мають бути цілком розумним рішенням для моделі невеликої річки або струмка.

Просторова і часова роздільності визначають зв'язок між реальним світом і моделлю реального світу, яка будується за допомогою комп'ютера. Обидві ніколи не будуть однаковими, звичайно, і будь-яке цифрове відображення залишить користувачеві якийсь ступінь непевності про реальний світ через деталі, які присутні в реальному світі в дрібнішому розділенні, ніж у моделі. Модель атмосфери, наприклад, навряд чи представляє хвилинні, місцеві та нетривалі коливання тиску, викликані польотом птахів. Звідси випливає, що передбачення моделі будуть дещо невизначеними в тому сенсі, що вони залишають розробника моделі в невіданні щодо точної природи реальних результатів.

4.3 ДИСКРЕТНІ Й БЕЗПЕРЕРВНІ МОДЕЛІ

Розробники динамічних моделей визнають дві дуже різні за стилем моделі – дискретні й безперервні. З точки зору ГІС ці дві можливості відображають широко визнані відмінності між двома концепціями географічного простору і географічної мінливості: концепція дискретних об'єктів і концепція безперервного поля.

Дискретні моделі

Дискретні моделі імітують процеси, що відбуваються між дискретними утвореннями, такими як сили, що діють між небесними

тілами і керують їх рухом, або поведінку людей або тварин при їх взаємодії в просторі.

У концепції дискретних об'єктів географічний простір порожній за винятком випадків, коли він зайнятий точковими, лінійними або площинними об'єктами, які можуть перекривати один одного, необов'язково використовуючи вільний простір, і неможливо визначити їхню кількість. Концепція дискретних об'єктів працює найкраще при описі та поданні біологічних організмів або створених діяльністю людини просторових об'єктів, таких як будівлі, транспортні засоби, або пожежні гідранти.

Безперервні моделі

Безперервні моделі, з іншого боку, є моделями в термінах змінних, які є безперервними функціями місця, наприклад, атмосферного тиску або температури, кислотності ґрунту або вологості, або висот землі.

Концепція безперервного поля описує географічний світ серією безперервних карт, кожна з яких представляє зміни визначеної змінної над поверхнею Землі. У покритті немає пробілів: є тільки одне значення для кожної змінної в кожному місці. Ця точка зору працює найкраще в описі зміни фізичних величин. Моделі атмосфери будуються з використанням цієї точки зору, хоча результати часто інтерпретуються в прогнозах погоди з точки зору поведінки дискретних об'єктів – максимумів, мінімумів і фронтів. Моделі безперервного поля, як правило, виражають знання роботи фізичної системи в термінах частинних похідних диференціальних рівнянь, які пов'язують значення, рівень зміни в часі, просторові градієнти і просторову кривизну у безупинно мінливих кількостях. Рівняння в частинних похідних повинні бути вирішені в рамках процесу чисельного наближення, використовуючи або кінцево-різницеві методи, які являють собою безперервну зміну, як растр фіксованої просторової роздільності, або звичайно-елементні методи, що використовують поліноміальні функції над нерегулярними трикутниками і чотирикутниками.

Так звані гравітаційні або просторові моделі взаємодії є відмінним прикладом дискретної моделі, оскільки вона може бути використана для прогнозування величини взаємодії. Ця взаємодія може відбуватися у формі телефонних дзвінків, щоденних поїздок на роботу, числа мігрантів або кількості торгових поїздок між дискретним джерелом і дискретним призначенням, аргументуючи за аналогією з гравітаційним каламбуром, який існує між двома небесними масами. Модель часто і

легко здійснюється в контексті ГІС за умови використання векторних представлень просторових об'єктів – джерела і призначення.

Гібридні моделі

Просторові моделі можна представити гібридними моделями, які поєднують аспекти обох підходів, наприклад, моделі, в яких дискретні об'єкти, що представляють транспортні засоби або організми, які ведуть себе у відповідності з локальним значенням безперервного поля. Наприклад, поведінка особистості в натовпі може бути змодельоване як реакція дискретного об'єкта на безперервно мінливу область сприйманої скупченості, яка обчислюється як деяка форма щільності населення.

4.4 Індивідуальні й агреговані моделі

В принципі можна моделювати будь-які системи за допомогою набору правил про механічну поведінку основних об'єктів системи. Поведінка натовпу, наприклад, може бути змодельована за допомогою кількох правил про поведінку кожного індивідуума, а розвиток структури землекористування на площі може бути змодельовано через низку правил, які описують поведінку кожної особи, що приймає рішення. Але при такому підході для багатьох систем кількість основних об'єктів є занадто великою для практичного використання. Прибережний геоморфолог не буде думати про моделювання поведінки пляжів за допомогою правил про поведінку кожної окремої піщинки, тому що 1) було б занадто багато дискретних об'єктів для маніпулювання, 2) було б занадто дорогим для визначення системи початковими умовами місце розташування і рух кожного піщаного зерна на початку моделювання.

Моделі безперервного поля вирішують цю проблему шляхом заміни окремих об'єктів з безперервно мінливими оцінками таких абстрактних властивостей, як щільність людей в натовпі або середня швидкість і прискорення молекул води, що розглядаються як безперервні рідини.

Агреговані моделі

Інший підхід полягає в об'єднанні (агрегуванні) окремих об'єктів у єдине ціле і моделюванні системи через поведінку цих агрегатів.

Таким чином, багато моделювань систем організму людини відбувається на агрегованому рівні ділянок перепису або шляхів, і багато моделювань гідрологічних систем відбувається з великими системами, які агрегують райони в цілісні вододіли або ділянки потоків. Великі системи ігнорують зміни (в т. ч. поведінки) і процеси всередині цілісного утворення, які знаходяться нижче просторового розділення для відображення.

З часом підвищення потужності та місткості комп'ютерів зробили моделювання на індивідуальному рівні практичнішим, і сьогодні можна будувати моделі з участю мільйонів і навіть мільярдів об'єктів. Проблема визначення початкових умов залишається актуальною. Однак вона часто є результатом реальних обмежень під час збору даних, отже часто потрібне використання дорогих людських ресурсів. Така технологія, як дистанційне зондування, забезпечує часткове рішення, що надає початкові умови на великих площах, щоб охарактеризувати в хорошому просторовому розділенні, але оптичне дистанційне зондування обмежене у своїй здатності бачити крізь хмари і відрізняти області на основі властивостей відповідно до дослідницької моделі.

4.5 СТАТИЧНІ Й ДИНАМІЧНІ МОДЕЛІ

Моделі можуть бути статичними, якщо вхід і вихід відповідають одному й тому ж моменту часу, або динамічними, якщо вихід представляє пізніший момент часу, ніж вхід. Спільним елементом у всіх цих моделях є робота ГІС в кілька етапів, чи будуть вони використані для створення комплексних показників від вхідних шарів або для представлення часових кроків у роботі динамічного процесу.

Статичні моделі часто набувають форми показників, поєднуючи різні матеріали для створення корисного виходу. Наприклад, універсальне рівняння втрати ґрунтів комбінує шари, що відображають інформацію про схили, якості ґрунту в сільськогосподарській практиці, а також інші властивості для оцінки кількості ґрунту, яка буде втрачена в результаті ерозії з одиниці площі в одиницю часу.

Динамічні моделі, з іншого боку, становлять процес, який змінює або перетворює деякі аспекти поверхні Землі з перебігом часу. Сучасні прогнози погоди створюються на основі динамічних моделей атмосфери. Динамічні моделі річкового стоку використовуються для

прогнозування повеней від штормів, а динамічні моделі людської поведінки використовуються для прогнозування дорожніх заторів.

4.6 КЛІТИННІ АВТОМАТИ

У клітинному автоматі просторові варіації представлені у вигляді растра фіксованої роздільності, кожній чарунці якого призначено один з кінцевої безлічі певних станів.

Для роботи клітинного автомата потрібні завдання початкового стану всіх чарунок і правила переходу чарунок з одного стану в інший. На кожній ітерації, використовуючи правила переходу і стану сусідніх чарунок, визначається новий стан кожної чарунки. Зазвичай правила переходу однакові для всіх чарунок і застосовуються відразу до всієї ґратки.

Такі моделі часто використовуються для вивчення процесів розширення міст, і в цьому випадку можливі стани, ймовірно, будуть обмежені двома: нерозвинені та розвинені. На кожному часовому кроці наступний стан кожного осередку визначається числом правил, заснованих на властивостях і на стані чарунки і її сусідів. Наприклад, правила для моделі простого міського розширення можуть бути наступними:

- якщо чарунка в даний час нерозвинена, перетворити в розвинену чарунку з імовірністю, яка залежить від нахилу чарунки, близькості до основних транспортних зв'язків, зонінгу чарунки, числа її найближчих сусідів, які вже розвинені;
- якщо чарунка в даний час розвинена, залишити без змін.

4.7 АГЕНТНІ МОДЕЛІ

Агентна модель – це ряд взаємодіючих активних об'єктів, які відображають об'єкти і відносини в реальному світі.

З точки зору практичного застосування агентне моделювання можна визначити як метод імітаційного моделювання, який досліджує поведінку децентралізованих агентів і те, як ця поведінка визначає поведінку всієї системи в цілому. При розробці агентної моделі інженер вводить параметри агентів (це можуть бути люди, компанії, активи, проекти, транспортні засоби, міста, тварини і т. д.), визначає їх поведінку, поміщає їх у деяке навколишнє середовище, встановлює можливі зв'язки, після чого запускає моделювання. Індивідуальна

поведінка кожного агента утворює глобальну поведінку модельованої системи [13].

У агентної моделі динамічна поведінка системи представлена через правила, що регулюють дії низки автономних агентів. Такі моделі можна розглядати як узагальнення клітинного автомата, в якому агенти можуть пересуватися у просторі, а не обмежуватися чарункою растра, але в інших випадках розташування агентів може бути нерелевантним до моделі.

Агент-орієнтоване моделювання знайшло багато цікавих застосувань для географічних явищ. Наприклад, були прикладені деякі зусилля, щоб застосувати агент-орієнтоване моделювання в галузі землекористування та земельного покриття з особливим акцентом на процеси, які призводять до більшої фрагментації ґрунтово-рослинного покриття в результаті розвитку і, таким чином, проблеми для видів, які вимагають спеціального природного середовища проживання.

Одним із факторів, який призвів до недавнього підвищення інтересу до агентних моделей, є поява об'єктно-орієнтованої парадигми в розробці програмного забезпечення. Відомий науковець Бетті (Batty) описав концепцію моделювання дії індивідумів в складних географічних ландшафтах шляхом будівництва безлічі паралельних, незалежних програмних модулів, кожен з яких представляє дії і рішення одного актора в системі. Об'єктно-орієнтовані мови зробили його набагато легшим для осмислення і побудови таких систем моделювання, які дуже відрізняються в архітектурі програмного забезпечення від традиційного серійного підходу до обчислень.

4.8 КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ВИРІШЕННЯ ПРОСТОРОВИХ ЗАДАЧ

Геопросторовий аналіз доцільно виконувати в наступній послідовності [13], [14].

Етап 1. Постановка задачі

Постановка задачі включає:

- чітке формулювання завдання;
- визначення мети аналізу;
- визначення критеріїв аналізу.

Постановка задачі може бути представлена у вигляді:

а) формулювання проблеми, наприклад:

- ідентифікація місць, придатних для нового будівництва;

б) питань, на які необхідно отримати відповіді, що включають формулювання і мету аналізу, наприклад:

- "Скільки лісу зростає в межах кожного басейну водозбору?"
- "Де відбулося більше крадіжок зі зломом минулого місяця?"
- "Який ступінь ризику будівництва у позначеному місці заплави річки?"

Критерії визначають параметри використання бази геоданих для отримання відповідей. Спочатку критерії можуть мати якісні значення. Наприклад, земельна ділянка повинна бути розташована поблизу інженерних комунікацій. По можливості використовують кількісні значення. Наприклад, земельна ділянка для будівництва повинна мати градієнт рельєфу не більше 10 %.

Етап 2. Ділення задачі на логічні частини

Після того як мета визначена, необхідно:

- а) розділити задачу на послідовність логічних частин (підзадач),
- б) виявити елементи та відносини, необхідні для вирішення на рівні цих частин;
- в) створити необхідні набори даних для формування моделі представлення.

При розподілі задачі на підзадачі визначаються кроки, необхідні для їх виконання, що допоможе вирішити всю задачу. Впорядковуючи підзадачі, ви починаєте будувати загальну картину того, що належить зробити.

Після того як визначили підзадачі, необхідно виявити елементи і їх відносини, які відповідають встановленим цілям. Елементи будуть моделюватися за допомогою моделей подання, а їхні відносини – за допомогою моделей процесів.

Специфіка задачі найчастіше визначає і вибір типу аналізу, і метод, найефективніший в даному випадку, та спосіб інтерпретації результатів. Від характеру проблеми залежить також необхідна детальність рішення, яка, в свою чергу, визначає витрати на отримання даних, придбання або оренду необхідних програмних засобів і обчислювальних потужностей. Саме на цьому етапі формується відповідність між масштабом проблеми і засобами, необхідними для її вирішення.

Важливим фактором, який значною мірою визначає детальність дослідження та метод розв'язання певної задачі, є уявлення про призначення результатів аналізу. В одному випадку треба провести попередні дослідження, щоб оцінити правомірність обраного методу або виділити значимі чинники, в іншому – надати результати в звіті на

вченій раді. В останньому випадку методи повинні бути суворішими, а результати – обґрунтованішими.

На цьому кроці ви повинні також визначити сукупність необхідних наборів даних. Після визначення наборів даних, їх потрібно представити у вигляді набору шарів (моделі представлення). Повна модель (складена з послідовності підзадач, моделей процесів і наборів даних) дає вам уявлення реального світу, яке ви можете використовувати для прийняття рішень.

Етап 3: Вивчення вхідних наборів даних

Тип даних і об'єктів, доступних для проведення даного дослідження, значною мірою визначає специфіку методу, який буде використаний, і досягнути точність результату. З іншого боку, щоб отримати якісну інформацію, потрібно забезпечити відповідний рівень вихідних даних.

Як правило, база геоданих вже буде існувати. На цьому етапі необхідно зрозуміти:

- що міститься у вхідних наборах даних?
- які взаємозв'язки можуть бути встановлені?

Потрібно чітко уявляти, якою інформацією ви володієте і що ще потрібно отримати або створити. Створення нових даних, у свою чергу, може стати причиною появи нових атрибутів у таблиці даних або навіть нових шарів карт. На цьому етапі може виникнути необхідність підготовки даних для просторових операцій, в тому числі зміни даних, перетворення одиниць вимірювання і системи координат, додавання даних, конвертації даних з одного формату в інший.

Оцінка вихідних даних – найважливіший етап аналітичного процесу. Саме в цей момент визначається принципова можливість реалізації обраних методів аналізу та отримання результату заявленої якості.

Етап 4: Виконання аналізу

Виконання аналізу включає вибір методу аналізу та обробку даних.

Вибір методу аналізу

Майже завжди є кілька шляхів отримання необхідної інформації. При виборі шляху слід спиратися на такі положення.

- По-перше, при виборі методу завжди виникає дилема: оперативність або точність аналізу. Оперативність аналізу виникає, коли потрібно швидко оцінити ситуацію в цілому і

прийняти рішення. При цьому користуються простими, добре перевіреними методами, які не потребують суттєвих витрат на отримання детальної та всебічної вихідної інформації про стан об'єкта. Отриманий результат буде мати невисоку точність і відображати тільки загальні характеристики процесу, який вивчається. Точність аналізу потрібна для отримання достовірної та повної вихідної інформації. Точність аналізу вимагає збільшення витрат часу і зусиль на обробку даних.

- По-друге, метод аналізу визначається моделлю наявних даних. Векторні дані є найзручнішими, коли необхідно зберігати точне місце розташування вихідного об'єкта, працювати з дискретними об'єктами, кордонами або моделювати лінійну мережу. Растрові дані доцільно використовувати для аналізу безперервних явищ. Триангуляційні дані доцільно використовувати для аналізу поверхонь. Сучасні ГІС дозволяють інтегрувати в процесі аналізу ці типи даних. У разі необхідності перетворення можна конвертувати растрові дані у векторні і, навпаки, за допомогою вмонтованих функцій.
- По-третє, залежно від обраних моделей даних вибираються і засоби їх обробки. Сучасні ГІС мають велику кількість аналітичних засобів просторових і атрибутивних даних. Просторовий аналіз певного набору даних може включати операції, наприклад, вилучення об'єктів, побудови буферних зон, накладення буферних зон на інші шари, роботу з об'єктами, які потрапили в буферні зони, та інші операції. Набір засобів аналізу визначається при інтерпретації критеріїв аналізу, виділених на етапі 1. Кожне твердження в постановці проблеми може транслюватися в ряд операцій аналізу.

Обробка даних

Як тільки вибрано метод, необхідно побудувати ланцюжок його реалізації засобами ГІС. Кожна просторова операція сприяє отриманню нової інформації. У більшості випадків аналізу потрібно набір операцій з безліччю шарів. При роботі з векторними наборами даних вони виконуються ступінчастим чином – два вхідних шару використовуються для формування нового шару, цей проміжний шар оброблюється спільно з третім шаром, щоб формувати інший проміжний шар, і так далі до досягнення бажаного результуючого шару карти. При роботі з растровими наборами даних є можливість одночасної обробки декількох шарів, алгоритм якої реалізується в растровому калькуляторі (Raster Calculator).

Наявність модуля будівника моделей процесів (Model Builder) в ArcGIS надає можливість аналітику автоматизувати виконання алгоритму моделі без залучення програміста.

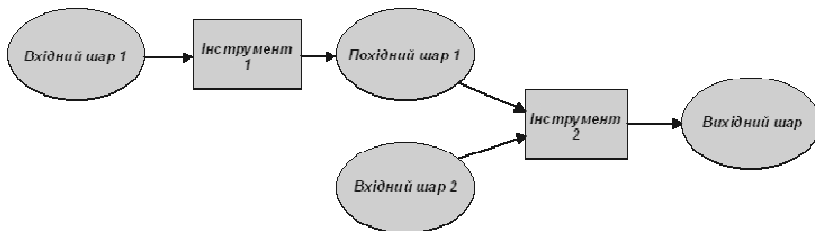


Рис. 4.1 – Приклад діаграми обробки даних в будівнику моделей процесів ModelBuilder

Незважаючи на досить великий перелік методів і підходів, які застосовуються в сучасному ГІС-аналізі та моделюванні, практично завжди за допомогою них отримуємо відповіді на два головних питання:

- "Де розташовані об'єкти із заданими властивостями?"
- "Чому досліджувані об'єкти розміщені саме в цьому місці та в даний час?"

Етап 5. Оцінка і відображення результатів

У процесі оцінки результатів виконується інтерпретація результатів, визначається об'єктивність і достатність отриманої інформації. Якщо необхідно, то приймається рішення про повторення аналізу з іншими параметрами або уточнення аналізу, або застосування іншого методу. ГІС дозволяє порівняно легко і оперативно зробити необхідні зміни і отримати новий результат. Можна також оперативно порівняти результати різних аналізів і побачити, який з підходів виявився кращим.

Результати аналізу можуть бути представлені у вигляді карти, діаграми, значень в таблиці – фактично нової інформації. Необхідно вирішити, яку інформацію виносити на карту, як групувати значення для найкращого відображення даних.

Етап 6: Реалізація результату

Після того як ви вирішили просторову задачу і вибрали модель, яка найкращим чином дозволяє досягти мети, поставленої на етапі 1, реалізуйте поставлену мету.

4.9 ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПІДГОТОВКИ

- 1) Наведіть визначення просторового моделювання.
- 2) Які існують типи географічних моделей реального світу?
- 3) Наведіть стисло характеристику географічних моделей реального світу.
- 4) Опишіть етапи виконання геопросторового аналізу.

Частина 2.

АНАЛІТИЧНІ ЗАСОБИ ГІС-АНАЛІЗУ

5. ФУНКЦІЇ ВИМІРЮВАННЯ

Функції вимірювання (Measurement functions), як і функції вибору даних і класифікації, дозволяють аналізувати дані без виконання істотних змін. Вони часто використовуються на початку аналізу. Функції геометричних вимірювань включають обчислення місця розташування, довжин ліній, відстаней між двома об'єктами і площі окремих об'єктів.

5.1 ВИМІРЮВАННЯ НА ВЕКТОРНИХ ДАНИХ

5.1.1 Визначення координат

Властивість "місце розташування" просторових об'єктів описується координатами, які завжди зберігаються в базі даних у вигляді списку координатних пар. У ГІС використовуються різні інструменти одержання координат, у тому числі курсором. Для деяких аналітичних завдань необхідне визначення координат особливих точок.

Визначення координат точки перетину двох прямих

Операція знаходження точки перетину ліній є однією з базових в ГІС-аналізі, оскільки вона використовується у ряді операцій геопроектингу і в оверлейних операціях.

Початковим є рівняння прямої, відоме з аналітичної геометрії:

$$y = kx + b, \quad (5.1.1)$$

де b – відрізок, що відсікається прямою на осі ОУ;

k – кутовий коефіцієнт прямої $k = \operatorname{tg} \beta$;

β – кут між додатним напрямом осі ОХ і прямою.

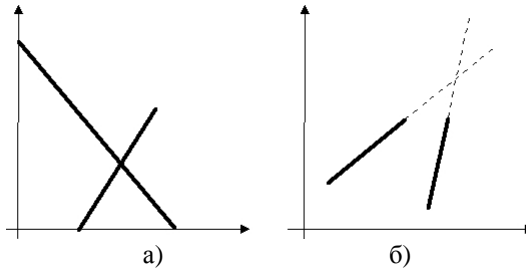


Рис. 5.1.1 – Точка перетину а) усередині відрізків прямих; б) зовні відрізків прямих

Дві лінії задаються рівняннями:

$$y_1 = k_1 x + b_1; \quad (5.1.2)$$

$$y_2 = k_2 x + b_2. \quad (5.1.3)$$

Спільне вирішення цих двох рівнянь дозволяє знайти координати точки перетину цих двох ліній:

$$x = \frac{b_1 - b_2}{k_2 - k_1}; \quad (5.1.4)$$

$$y = \frac{k_2 b_1 - k_1 b_2}{k_2 - k_1}. \quad (5.1.5)$$

У оверлейних операціях при визначенні приналежності точки полігона враховується спеціальний випадок, коли одна лінія паралельна вибраній осі, наприклад, осі ОХ. В цьому випадку $k = 0$, а координати точки перетину таких двох ліній будуть дорівнювати:

$$x = \frac{b_1 - b_2}{k_2}; \quad (5.1.6)$$

$$y = b_1. \quad (5.1.7)$$

Для визначення перетину двох поліліній з n_1 і n_2 сегментами розроблено декілька способів.

Найпростішим способом знаходження їхніх точок перетину є послідовна перевірка перетину кожного сегмента першої лінії з кожним сегментом другої лінії. Складність цього алгоритму пропорційна добутку $n_1 * n_2$. Вона може бути зменшена, якщо заздалегідь перевіряти на перетин екстенти (Extent – мінімальний обмежуючий прямокутник) сегментів і поліліній, наведені на рис. 5.1.2.

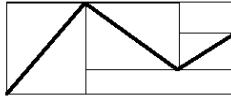


Рис. 5.1.2 – Екстенти сегментів і полілінії

Другий метод, використаний в ГІС ArcInfo, заснований на розбитті полілінії на секції, в яких лінія монотонно зростає або спадає по x і по y . Розбиття відбувається в точках локального мінімуму або максимуму осі x або y . Горизонтальна або вертикальна лінія перетинає таку секцію тільки в одній точці.

Визначення координат центроїдів і центрів

Терміни "центри" і "центроїди" мають різні значення і формули. Центри і центроїди полігонів виконують низку важливих функцій в ГІС. Вони часто використовуються як "ідентифікаційні точки" полігонів. Для аналітичних цілей їх застосовують як об'єкти, які представляють полігони. Ефект заміщення точкою полігонів полягає в менших обсягах даних, а також в можливості виконувати деякі аналітичні операції. Доцільно використовувати центри полігонів, коли полігони невеликих розмірів однорідні або відносно компактні. У растрових ГІС представлення чарунок растра їх центрами розширює можливості геопросторового аналізу безперервних поверхонь.

Точковими об'єктами, які представляють полігон, можуть бути 1) центр екстента – c_1 , 2) серединний центр – c_2 , 3) центроїд – c_3 (рис. 5.1.3).

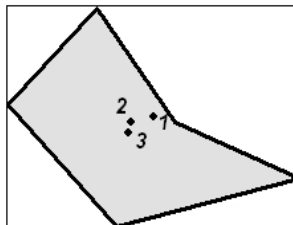


Рис. 5.1.3 – Точка заміщення полігонального об'єкта:
1 – центр екстента, 2 – серединний центр, 3 – центроїд

У деяких випадках центри і центроїди можуть знаходитися поза полігоном. ArcGIS включає функцію Features to Points, яка може створювати центри усередині полігона.

Центр екстента полігонального об'єкта обчислюють за формулою:

$$x_{c1} = \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2}; \quad y_{c1} = \frac{y_{\max} + y_{\min}}{2}. \quad (5.1.8)$$

Серединний центр (Mean Centre) визначається серединною точкою або точкою симетрії геометричної фігури. Його місце розташування визначають середніми координатами:

$$x_{c2} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{x_i}{n}; \quad y_{c2} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{y_i}{n}. \quad (5.1.9)$$

Серединний центр не є центром тяжіння. У деяких випадках використовують зважений серединний центр (Weighted Mean Centre), який визначають зваженими середніми координатами:

$$x_{c2_p} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{p_i x_i}{\sum_i p_i}; \quad y_{c2_p} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{p_i y_i}{\sum_i p_i}. \quad (5.1.10)$$

Центроїд (Centroid) розглядається як центр тяжіння об'єкта або набору об'єктів. Координати центроїда отримують за формулою Гаусса:

$$x_{c3} = \frac{1}{6S} \sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} y_i - x_i y_{i+1}) * (x_i + x_{i+1}), \quad (5.1.11)$$

$$y_{c3} = \frac{1}{6S} \sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} y_i - x_i y_{i+1}) * (y_i + y_{i+1}), \quad (5.1.12)$$

де S – площа полігонального об'єкта.

У трикутнику центр тяжіння знаходиться на перетині прямих ліній, проведених з вершини до середніх точок протилежних сторін.

5.1.2 Визначення довжини лінії

Властивість "довжина" характеризує лінійні просторові об'єкти. Значення довжини зберігається в базі даних або обчислюється. У

декартовій системі координат довжина лінії залежить від координат двох точок і обчислюється за формулою:

$$d = \sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2} . \quad (5.1.13)$$

Властивість "відстань" характеризує віддалення одного об'єкта від другого. Наприклад, нехай пряма лінія задана виразом:

$$ax + by + c = 0, \quad (5.1.14)$$

де a , b , c – коефіцієнти. Відстань точки $P(x_p, y_p)$ до прямої обчислюється за формулою:

$$d_{p,l} = \frac{|ax_p + by_p + c|}{\sqrt{(a^2 + b^2)}} . \quad (5.1.15)$$

5.1.3. Визначення площі полігона

Для визначення площі полігона, заданого послідовністю вершин, найчастіше застосовують алгоритм Сімпсона (Simpson Thomas), заснований на розбитті багатокутника на трапеції, обмежені лінійними сегментами межі полігона, перпендикулярами, опущеними з вершини сегмента на вісь X й вісь Y (рис. 5.1.4). Для сегмента, що сполучає вершини (x_i, y_i) і (x_{i+1}, y_{i+1}) , площа такої трапеції дорівнює:

$$S_{i,i+1} = \frac{1}{2} (x_{i+1} - x_i) * (y_i - y_{i+1}) . \quad (5.1.16)$$

Площа полігона дорівнює сумі площ трапецій для всіх сегментів полігона:

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} - x_i) * (y_i - y_{i+1}) . \quad (5.1.17)$$

Для сегментів, в яких $x_i > x_{i+1}$, площа виходить від'ємною. Слід зауважити, що полігон – замкнена фігура, тому потрібно враховувати сегмент, який з'єднує останню вершину з першою.

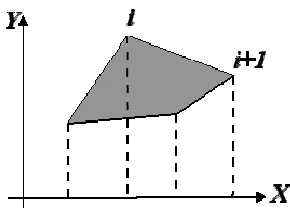


Рис. 5.1.4 – Схема розбиття полігона на трапеції

Формула обчислення площі полігону може бути перетворена до наступного вигляду:

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} y_i - x_i y_{i+1}). \quad (5.1.18)$$

Формула обчислення площі полігону представлена для правої системи координат і нумерації вершини полігону за ходом годинникової стрілки. Для полігонів, цифрованих проти годинникової стрілки, площа виходить від'ємною. Цим способом можна обчислити площі не тільки опуклих багатокутників, але й увігнутих, а також полігонів, що мають діри. Алгоритм непридатний для обчислення площ полігонів, що мають лише перетин меж.

5.2 ВИМІРЮВАННЯ НА РАСТРОВИХ ДАНИХ

Виміри на растрових даних простіші через регулярність чарунки. Розмір площі чарунки постійний і визначається роздільною здатністю чарунки.

Місце розташування окремої чарунки визначається точкою геоприв'язки растра, роздільною здатністю чарунки, номером колонки і номером стовпчика чарунки на растрі. Точкою геоприв'язки растра може бути нижній лівий або верхній лівий кут растра; ця умова враховується програмним продуктом.

Відстань між двома чарунками растра є функцією місця розташування їхніх середніх точок і роздільною здатністю чарунок. У растровій моделі в ГІС визначення довжин вертикальних або горизонтальних ліній проводиться шляхом підрахунку кількості чарунок, по яких проходить лінія, і множенням їх на розмір однієї чарунки. Якщо лінія орієнтована по діагоналях чарунок, то необхідно виконати добуток кількості чарунок на розмір чарунки й на $\sqrt{2}$.

Площу вибраних об'єктів на растрі обчислюють як добуток кількості чарунок на площу окремої чарунки.

5.3 ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПІДГОТОВКИ

- 1) Як визначити координати точки перетину двох прямих?
- 2) Як визначити координати центроїдів і центрів?
- 3) Як визначити площу полігона?

6. ФУНКЦІЇ ВИБОРУ ДАНИХ

При дослідженні просторового набору даних перш за все треба вибрати (селектувати) певні просторові об'єкти, щоб тимчасово обмежити область дослідження, використовуючи функції вибору даних (Retrieval functions). Такі виділення можуть бути зроблені на просторовій основі або на основі атрибутивних даних, пов'язаних з просторовими об'єктами. Способом вибору даних є запити просторового вибору (Spatial selection queries). Запити просторового вибору можна комбінувати або виконувати у певній послідовності для одержання кінцевого результату.

6.1 ІНТЕРАКТИВНИЙ ПРОСТОРОВИЙ ВИБІР ДАНИХ

Інтерактивний просторовий вибір даних (Interactive spatial selection) виконують шляхом вказівки на об'єкті або викреслювання просторових об'єктів на дисплеї. Після цього вибрані просторові об'єкти відображаються на карті. Інтерактивно певні об'єкти називаються селективними або вибраними об'єктами. Потім ГІС вибирає просторові об'єкти в активних шарах даних, які накладаються на вибрані об'єкти.

Просторові дані пов'язані з атрибутивними. Вибір просторових об'єктів за допомогою цих зв'язків приводить до вибору записів у таблицях. І навпаки, вибір записів у таблицях приводить до вибору просторових об'єктів.

6.2 ПРОСТОРОВИЙ ВИБІР ЗА АТРИБУТИВНИМИ УМОВАМИ

Просторові об'єкти можуть бути вибрані шляхом формування умов вибору на основі атрибутів просторових об'єктів (Spatial selection by attribute conditions). Ці умови формулюються у формі запитів мовою структурованих запитів (Structured Query Language - SQL), якщо дані знаходяться в реляційній базі даних, або специфічною мовою програмного забезпечення, якщо дані знаходяться у ГІС безпосередньо. Вирази запитів можуть бути простими й комбінованими.

Для однієї умови типу "де є просторові об'єкти з...?" створюється простий вираз, який містить послідовно назву атрибута, оператор

обчислення арифметичний (+, − *, /) або порівняння (=, <, >, >=, <=, Like), значення атрибута. Наприклад, умова "де є земельні ділянки з площею меншою 0,05 гектарів?" трансформується у вираз запити:
"площа" < 0,05.

Коли для вибору використовується більш ніж один критерій, створюється складений вираз, який містить назви атрибутів, операторів обчислень, значення атрибутів і логічних операторів (And, Or, Not). Наприклад, запит "де є земельні ділянки з площею менше 0,05 гектарів і тип використання землі житлова забудова?" містить два вирази з логічним оператором:

"площа" < 0,05 And "тип" = 'житлова забудова'

6.3 ПРОСТОРОВИЙ ВИБІР НА ПІДСТАВІ ТОПОЛОГІЧНИХ ВІДНОШЕНЬ

Просторовий вибір на підставі топологічних відношень (Spatial selection using topological relationships) може виконуватися одним оператором. Вибір просторових об'єктів залежить від їхнього місця розташування відносно інших просторових об'єктів. Найбільш загальними є наступні типи запитів:

- Вибір просторових об'єктів, які знаходяться всередині об'єктів (Selecting features that are inside selection objects). Цей тип запити використовує відношення включення (containment) між просторовими об'єктами. Вочевидь, що полігони можуть включати полігони, лінії і точки, а лінії можуть включати лінії і точки; інші включення не можливі.
- Вибір просторових об'єктів, які перетинаються (Selecting features that intersect). Необхідний для вибору оператор виділятиме просторовий об'єкт, який спільно використовує загальну геометричну частину об'єкта-джерела.
- Вибір просторових об'єктів, суміжних з вибраними об'єктами (Selecting features adjacent to selection objects). Суміжність є відношення зустрічі, яке виражає те, що просторові об'єкти спільно використовують межі. Вона застосовується тільки для лінійних або полігональних об'єктів.
- Вибір просторових об'єктів за їх видаленням (Selecting features based on their distance). Як засіб вибору просторових об'єктів цей тип запити використовує функцію відстані. Такий вибір може бути пошуком усередині певної відстані заданих об'єктів або на заданій відстані, або більше заданої відстані.

Ці запити мають різновиди операторів у списку діалогового окна "Вибір за місцем розташування" (Select By Location).

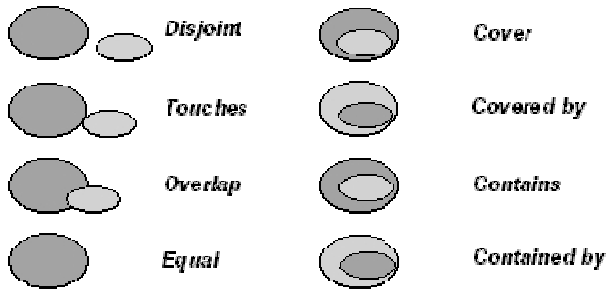


Рис. 6.3.1 – Просторові співвідношення об'єктів

На рис. 6.3.1 подані просторові співвідношення об'єкта В (світлого кольору) до об'єкта А (темного кольору):

- В "роз'єднаний з" А (Disjoint);
- В "торкається" А (Touches);
- В "накладається на" А (Overlap);
- В "рівний" А (Equal);
- В "покриває" А (Cover);
- В "покритий" А (Covered by);
- В "містить" А (Contains);
- В "міститься в" А (Contains by).

6.4 ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПІДГОТОВКИ

- 1) Як виконують просторовий вибір за атрибутивними умовами?
- 2) За якими топологічними співвідношеннями формуються запити просторового вибору?

7. ФУНКЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ

7.1 ЦІЛІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗА АТРИБУТАМИ

Ефективним інструментом просторового аналізу в ГІС є функції *автоматизованої класифікації об'єктів* за значеннями їхніх атрибутів (Classification functions). Функції класифікації за атрибутами – це техніка цілеспрямованого вилучення деталей із множини початкових даних з метою виявлення закономірностей у просторовому розподілі об'єктів і їхньої візуалізації.

Класифікації за атрибутами можуть бути:

- простими, створеними на основі одного критерію (тип ландшафту);
- складними, створеними на основі багатьох критеріїв одного покриття (висота, кількість опадів, екологічні показники і тому подібне);
- комбінованими, створеними на основі багатьох параметрів різних покриттів.

Набір початкових даних може бути результатом деякої класифікації; в такому разі говорять про повторну класифікацію (Reclassification). У процесі класифікації вхідна множина значень атрибутів може бути залишена неушкодженою.

У класифікації векторних даних можуть бути два можливі результати.

- 1) Вхідні об'єкти можуть стати вихідними об'єктами в новому шарі даних з додатково призначеною категорією. Іншими словами, просторова протяжність оригінальних просторових об'єктів не змінилася.
- 2) Вихідні об'єкти отримані в результаті об'єднання сусідніх просторових об'єктів з близькими значеннями атрибутів. Така функція називається просторовим злиттям, агрегацією або розчиненням.

7.2 МЕТОДИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗА АТРИБУТАМИ

При автоматизованій класифікації (Automatic classification) за атрибутами користувач визначає атрибут класифікації, метод класифікації і число класів.

Вибір методу класифікації спирається на оцінку розподілу даних за допомогою гістограм. На горизонтальну вісь гістограм виносять значення, а на вертикальну – частоту їхньої появи в межах даної вибірки. Для автоматизованої класифікації за атрибутами ArcMap дає можливість використовувати один з шести стандартних методів класифікації [57].

Рівний інтервал

Метод рівних інтервалів (Equal interval) заснований на наступному принципі класифікації: кожен клас має рівний діапазон значень. Різниця між максимальним і мінімальним значенням однакова для кожного класу. Програма віднімає мінімальне значення в наборі даних від максимального значення, отримане значення ділить на задане число класів, потім отримує граничне значення для першого класу шляхом збільшення результату ділення до найменшого значення вибірки. Так само встановлюються інтервали для останньої частини класів. Рівні інтервали простіші для розуміння, оскільки діапазон для кожного класу однаковий.

Заданий інтервал

Метод заданих інтервалів (Defined interval) дозволяє користувачеві визначити інтервал, на який буде розділений весь діапазон значень атрибута. На відміну від схеми рівних інтервалів, де користувач визначає кількість інтервалів, тут необхідно вказати значення інтервалів. ГІС автоматично визначає кількість класів на підставі цього інтервалу.

Квантиль

Метод квантиль (Quantile) створює рівне число об'єктів у кожному класі. ГІС упорядковує об'єкти за принципом зміни їх атрибута в інтервалі від максимального до мінімального значення і підсумовує їхню кількість. Потім ділить загальну кількість об'єктів на число класів, які задав користувач. Після цього привласнює першим за порядком об'єктам значення найнижчого класу, поки цей клас не буде заповнений, потім переміщується до наступного класу, заповнює його і так далі.

Природне розбиття

Метод природного розбиття (Natural breaks) заснований на наступному принципі класифікації: кордони класів визначаються там, де є різкий перепад між групами. За автором Jenks ПС автоматично визначає максимальне і мінімальне значення для кожного класу, використовуючи математичну процедуру, яка аналізує різкі зміни в даних. Ця процедура вибирає інтервали, які краще всього групують близькі значення і максимізує відмінності між класами.

Геометричний інтервал

Метод геометричного інтервалу (Geometrical interval) ґрунтується на інтервалах класів, що мають геометричну серію. Геометрична серія – це послідовність, де кожне подальше значення виходить множенням попереднього значення на геометричний коефіцієнт. Алгоритм створює ці геометричні інтервали, мінімізуючи суму квадратів елементів на клас. Це гарантує, що діапазон кожного класу має приблизно одну кількість і що зміни між інтервалами досить послідовні.

Стандартне відхилення

Метод стандартного відхилення (Standard deviation) заснований на наступному принципі класифікації: кожен клас визначений величиною відхилення від середнього за вибіркою. ПС спочатку знаходить середнє за вибіркою, розділивши суму всіх значень на загальне число об'єктів. Після цього обчислюється середньоквадратичне відхилення шляхом віднімання середнього з кожного значення і зведення різниці в квадрат. Отримані значення підсумовуються і діляться на число об'єктів. З одержаного виразу добувають корінь. Формула середньоквадратичного відхилення кожного значення від середнього за вибіркою має вигляд:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}}, \quad (7.2.1)$$

де S – середньоквадратичне відхилення, x – значення об'єкта, \bar{X} – середнє за вибіркою, n – число об'єктів.

7.3 Питання та завдання для самопідготовки

- 1) Яку мету має класифікація за атрибутами?
- 2) Наведіть загальну характеристику методів автоматизованої класифікації за атрибутами.

8. ФУНКЦІЇ ОВЕРЛЕЙНІ

8.1 ВИЗНАЧЕННЯ Й ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОВЕРЛЕЙНИХ ФУНКЦІЙ

Оверлей (Overlay) – це спільна обробка накладання двох або більше вихідних шарів однієї географічної області, в результаті якої створюється похідний шар з новими географічними даними як комбінація топологічних сегментів вихідних географічних даних. Оверлей – це потужний засіб аналізу множини різноименних і різнотипних просторових об'єктів.

Існує два основних шляхи виконання оверлейних операцій – на векторних моделях і на растрових моделях географічних об'єктів. Геоінформаційні системи надають можливість використовувати також комбінований шлях. Вибір методу залежить, перш за все, від цілей аналізу, від того, які дані вже існують, від необхідної точності аналізу, від складності операцій. Оверлейні операції можуть приводити до результатів, що відрізняються. Кожний шлях оверлейного аналізу має свою специфіку.

У системі, заснованій на *векторних моделях*, топологічні оверлейні операції є складнішими, ніж в системі, заснованій на растрових моделях. Оскільки просторові дані зберігаються як точки, лінії і полігони, вони потребують відносно складних геометричних операцій, щоб отримати перетин полігонів і створити нові вузли й дуги із об'єднаними значеннями атрибутів.

Елементами оверлейних операцій є вхідний шар, оверлейний шар, вихідний шар. Накладання просторових об'єктів вхідних шарів дозволяє розділяти їх на топологічні сегменти і комбінувати з цих сегментів нові об'єкти залежно від мети аналізу (рис. 8.1.1).

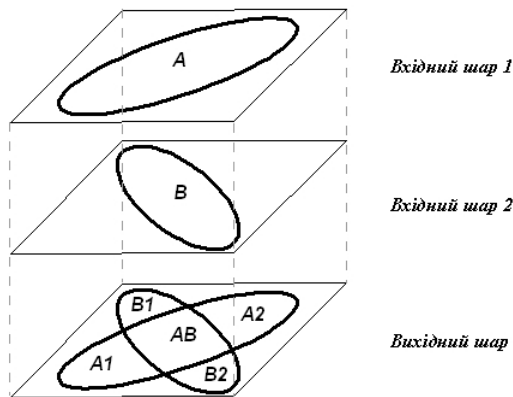


Рис. 8.1.1 – Концептуальне представлення топологічного накладання векторних шарів

Нові полігони створюються на перетині полігонів вхідного і оверлейного шарів. Накладення лінійного об'єкта на полігональний об'єкт розділяє його на два нові полігональні об'єкти. Нові об'єкти зберігаються у вихідному шарі; вхідний шар не змінюється. Атрибути просторових об'єктів у оверлейному шарі привласнюються відповідним новим просторовим об'єктам разом із атрибутами об'єктів вхідного шару.

У багатьох випадках потрібні маніпуляції із більш ніж двома шарами векторних даних для досягнення цілей аналізу. У таких випадках оверлейні операції виконують ступінчастим способом: два вхідних шара оброблюють, щоб формувати похідний шар; цей проміжний шар потім обробляють з третім шаром, щоб формувати наступний проміжний шар, і т. д. до досягнення бажаного результуючого шару карти.

У системі, заснованій на *растрових моделях*, топологічні оверлейні операції є простішими, ніж в системі, заснованій на векторних моделях. Кожна чарунка растрового шару пов'язана з одним відповідним географічним місцем розташування. Це робить її зручною для комбінування характеристики багатьох шарів у одному шарі. Зазвичай кожній характеристиці привласнюють багато значень, дозволяючи користувачеві математично комбінувати шари, і призначають нові значення кожній чарунці у вихідному шарі.

1	1	4		7	6	5		8	8	9
1	3	2		4	6	6		5	9	8
4	2	1	+	3	5	8	=	7	7	9
Вхідний шар 1				Вхідний шар 2				Вихідний шар		

Рис. 8.1.2 – Ілюстрація підсумовування даних при накладенні растрових шарів.

8.2 БУЛЕВА АЛГЕБРА В ТОПОЛОГІЧНОМУ НАКЛАДЕННІ

Для реалізації топологічного накладання в ГІС використовується алгебра логіки. Це розділ математичної логіки, що вивчає логічні операції над виразами. Її основоположником був англійський математик Джордж Буль (G. Bool). У алгебрі логіки істинні значення виразів прийнято позначати числами 1 (істина – true) і 0 (хибність – false). Кожній логічній операції відповідає функція, що набуває значень 1, 0. Такі функції називаються функціями алгебри логіки або булевими функціями.

Щоб визначити, чи є певний стан достеменним або помилковим, в просторовому аналізі використовуються логічні оператори булевої алгебри, які позначаються AND (І), OR (АБО), NOT (НЕ) в текстовому форматі, і відповідно \cap , \cup , \neg у символічному форматі.

Два вхідних шари топологічного накладання можна розглядати як два набори даних – набір А і набір В. Для них визначають наступні базові логічні операції:

- логічна операція кон'юнкція $A \cap B$ визначає перетин двох наборів даних, що ідентифікує ті сутності, які належать і набору А і набору В (істинно А і В);
- логічна операція диз'юнкція $A \cup B$ визначає об'єднання двох наборів даних, що ідентифікує ті сутності, які належать набору А або набору В (істинно А або В);
- логічна операція заперечення $A \neg B$ визначає різницю двох наборів даних, що ідентифікує ті об'єкти, які належать А, але не В (істинно не В).

Ці співвідношення можна візуалізувати за допомогою діаграм Венна.

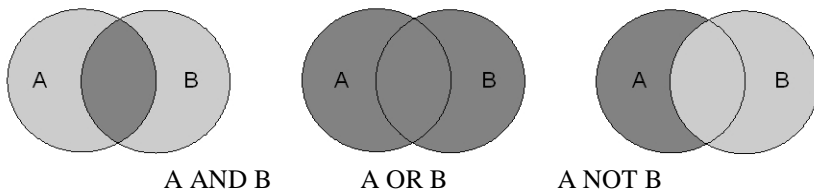


Рис. 8.2.1 – Діаграми Венна

Використовуючи базові логічні операції, можна описати складні логічні функції.

Булеву алгебру застосовують в обчисленні або моделюванні нових об'єктів у топологічній оверлейній обробці для систем, заснованих як на векторних, так і на растрових моделях. Ці операції можуть застосовуватися до всіх типів даних – булевих, відносних, інтервальних, порядкових або номінальних.

8.3 ВЕКТОРНІ ОВЕРЛЕЙНІ ОПЕРАТОРИ

8.3.1 Класифікація векторних оверлейних операцій

Топологічні векторні оверлейні операції можна класифікувати [58]:

- 1) за типами елементів, що містяться в шарах для накладення (або за шарами, що містять точкові, лінійні або полігональні елементи);
- 2) за типом операції (наприклад, генерування вихідного шару операціями з'єднання, перетину або іншими булевими операціями).

Класифікація векторних оверлейних операцій за типами елементів кожного шару

Векторні оверлейні операції включають накладення точкових, лінійних або полігональних просторових об'єктів одного шару на полігональні просторові об'єкти другого шару.

Табл. 8.3.1 ідентифікує оверлейні опції для кожної можливої комбінації типів елементів, що містяться у двох вхідних шарах.

Таблиця 8.3.1 – Класифікація векторних оверлейних операцій за типами елементів

Тип елементів	Точка	Лінії	Полігони
Точка	Накладення точок (Point-on-Point)	Точка на лінії (Point-in-Line)	Точка в полігоні (Point-in-Polygon)
Лінії	Точка на лінії (Point-in-Line)	Накладення ліній (Line-on-Line)	Лінія в полігоні (Line-in-Polygon)
Полігони	Точка в полігоні (Point-in-Polygon)	Лінія в полігоні (Line-in-Polygon)	Накладення полігонів (Polygon-on-Polygon)

Класифікація векторних оверлейних операцій за типом операції

Тип оверлейної операції визначається комбінацією використання логічних операторів. При цьому кожна комбінація вироблятиме різний вихідний шар. Різні програмні продукти ГІС можуть мати свої назви операцій. Наприклад, ArcGIS 9.x має інструменти оверлейних операцій, наведені в табл. 8.3.2.

Таблиця 8.3.2 – Інструменти оверлейних операцій в ArcGIS 9.x

Інструмент	Опис
Erase (Стирання)	Цей інструмент створює клас просторових об'єктів з тих просторових об'єктів або частин просторових об'єктів, які знаходяться поза стираючим класом просторових об'єктів
Identity (Ідентичність)	Цей інструмент комбінує частини просторових об'єктів, які накладаються ідентичними просторовими об'єктами для створення нового класу просторових об'єктів
Intersect (Перетин)	Цей інструмент створює новий клас просторових об'єктів з просторових об'єктів, що претинаються, загальних в обох класах просторових об'єктів
Spatial Join (Просторове з'єднання)	Створює тип з'єднання таблиць, в якому поля з таблиці атрибутів одного шару приєднані до таблиці атрибутів другого шару на підставі відносного місця розташування просторових об'єктів у двох шарах
Symmetrical Difference (Симетрична різниця)	Цей інструмент створює клас просторових об'єктів з тих вхідних і оверлейних просторових об'єктів або частин просторових об'єктів, що не накладаються
Union (Об'єднання)	Цей інструмент створює новий клас просторових об'єктів, комбінуючи просторові об'єкти і атрибути кожного класу просторових об'єктів
Update (Оновлення)	Цей інструмент оновлює атрибути й геометрію вхідного класу просторових об'єктів або шару оновлюючим класом просторових об'єктів або шаром, яким вони накладаються

8.3.2 Алгоритми векторних оверлейних операцій

З можливих комбінацій накладання точкових, лінійних або полігональних просторових об'єктів одного шару на полігональні просторові об'єкти другого шару основними є три наступні алгоритми обробки:

- "Точка в полігоні" (Point-in-Polygon)
- "Лінія в полігоні" (Line-in-Polygon)
- "Полігон на полігоні" (Polygon-on-Polygon), іншими словами – "Оверлей полігонів" (Polygon Overlay).

Алгоритм операції "Точка в полігоні"

Операція "Точка в полігоні" (Point-in-Polygon) ідентифікує полігон, в який попадає кожна точка. Результатом накладення "Точка в полігоні" є множина точок з додатковими атрибутами полігона, в межах якого знаходяться точки.

Алгоритм операції "Точка в полігоні" наступний:

- 1) Спочатку використовується екстент полігона (мінімальний обмежувальний прямокутник). Якщо точка лежить зовні екстента полігона, тоді вона також повинна знаходитися поза полігоном, у такому разі аналіз закінчений (приклад на рис. 8.3.1 а). Але якщо точка попадає всередину екстента, потрібне продовження обробки.
- 2) У одному напрямі від вибраної точки креслять лінію паралельно осі або X або Y, яка є направленим променем і називається "половиною лінії".
- 3) Потім розраховують число перетинів цієї "половини лінії" з межею полігона. Якщо результат – парне число, то це вказує на те, що точка знаходиться поза полігоном. Якщо результат – непарне число, то це вказує на те, що точка падає всередину полігона.

Описаний алгоритм аналізу "Точка в полігоні" працює також і для окремих випадків: а) острівних полігонів, б) полігонів з дірами, в) увігнутих полігонів. Приклади цих окремих випадків показані на рис. 8.3.1.

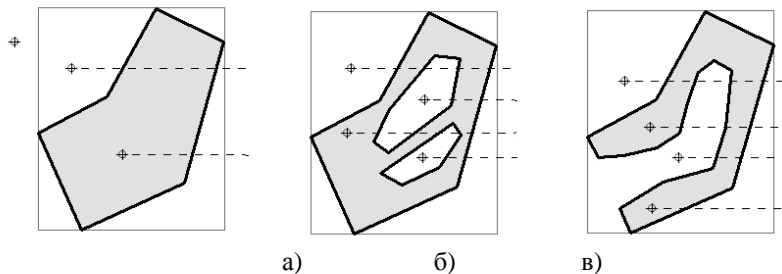


Рис. 8.3.1 – Накладення "Точка в полігоні"

Проблеми виникають, якщо: а) точка знаходиться точно на кордоні; б) точка знаходиться на вузлі або вершині; в) сегмент лінії колінеарний "половині лінії". У цих випадках індивідуальні пакети ГІС використовують їх власні правила рішення.

Приклад використання аналізу "Точка в полігоні": визначення числа правопорушень, зафіксованих в точковому шарі, на міліційних ділянках.

Алгоритм операції "Лінія в полігоні"

Полігональні просторові об'єкти одного вхідного шару можуть бути накладені на лінії (дуги) другого вхідного шару. Лінія може складатися з багатьох сегментів. Аналіз "Лінія в полігоні" ідентифікує полігон, який містить кожну лінію або сегменти лінії. Результатом накладення "Лінія в полігоні" є новий шар, що містить лінії з додатковими атрибутами полігонів, в які падають лінії.

Оскільки лінії і полігони складені з сегментів, аналіз "Лінія в полігоні" потребує визначення: чи перетинається будь-який з цих сегментів з лінією, що накладається. Завдання визначення, чи перетинаються два сегменти лінії, вирішується за раніше наведеними математичними залежностями.

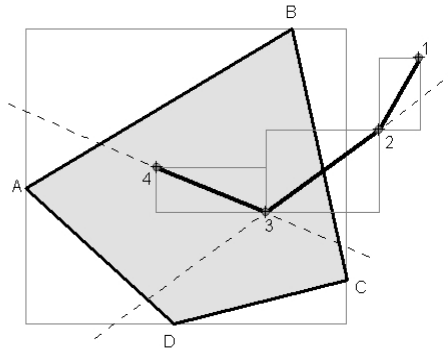


Рис. 8.3.2 – Накладення "Лінія в полігоні"

Геоінформаційні системи використовують наступний алгоритм.

- 1) Щоб зменшити число необхідних обчислень, використовуються екстенти елементів. Якщо екстент лінії повністю знаходиться зовні екстента полігону, лінія чітко розташована за межами полігону і на цьому аналіз закінчується. Інакше – потрібне продовження обробки (наприклад, рис. 8.3.2).
- 2) Оскільки лінія може бути складена з багатьох лінійних сегментів, кожен сегмент лінії має бути випробуваний на перетин або розташування в межах полігону.
- 3) Полігони можуть мати вигнутості або дірки всередині них, тому не достатньо визначити, чи лежать обидва кінця сегмента лінії в межах полігону. Щоб вирішити це завдання, і полігон, і сегмент лінії повертають так, щоб сегмент лінії став паралельним до однієї осі.
- 4) Щоб визначити, чи знаходиться кожен кінець сегмента усередині або поза полігоном, від кожного кінця сегмента креслять лінію паралельно осі або X або Y, яка є напрямленим променем. Потім використовують критерій "Половини лінії" (описаний в аналізі "Точка в полігоні") відносно кількості точок перетину променя з межею полігону. Слід зауважити, що точки перетину "Половини лінії" не обов'язково можуть бути точкою перетину сегмента.
- 5) Якщо результат тестування за допомогою "Половини лінії" показує, що обидві точки сегмента знаходяться всередині полігону і немає перетину сегмента, то вся лінія знаходиться всередині полігону. Інакше, якщо початкова точка сегмента розташована поза полігоном і перша частина сегмента лінії знаходиться поза полігоном до першої точки перетину сегмента, друга частина

сегмента лінії розташована всередині полігона до наступної точки перетину сегмента.

- 6) Ця процедура застосовується для кожного з сегментів лінії, що формують лінію, яка аналізується.

Приклад використання аналізу "Лінія в полігоні": визначення локалізації трубопроводів у межах кварталів міста.

Алгоритм операції "Полігон на полігоні"

Процес "Полігон на полігоні" спільно обробляє полігони, що накладаються, від двох вхідних шарів, щоб створити нові полігони у вихідному шарі. Результатом аналізу "Полігон на полігоні" є вихідний шар, що містить нові полігони з атрибутами від кожного з двох оверлейних полігонів.

Оскільки кордони полігонів утворені з сегментів ліній, аналіз "Полігон на полігоні" вимагає визначення того, чи перетинаються ці сегменти оверлейних ліній. Обробка для аналізу "Полігон на полігоні" є, по суті, такою ж, що й аналіз "Лінія в полігоні".

8.3.3 Базові оверлейні операції векторних моделей

Векторна оверлейна обробка використовує заздалегідь згадані булеві логічні операції AND, OR і NOT, щоб визначити *перетин* (Intersection) або *об'єднання* (Union) двох шарів, або *доповнення* (Complement) одного шару в систему.

Векторна оверлейна обробка використовує також булеві відношення – *включення* (Inclusion (позначення \subset)) і *виключення* (Exclusion (позначення $\not\subset$)), щоб визначити, яка частина шару міститься або не міститься в межах другого шару в системі.

Наприклад, розглянемо два шари A, B у ГІС:

- Операція " $A \subset B$ " визначає частину шару A, яка міститься в шарі B.
- Операція " $A \not\subset B$ " визначає частину шару A, яка не міститься в шарі B.

Існують багаточисельні векторні оверлейні операції, проте всі вони є похідними від чотирьох базових операцій: Union, Intersection, Inclusion, Exclusion [58].

Об'єднання

Об'єднання (Union) аналогічне булевому логічному операторові OR (АБО), де всі елементи від обох вхідних шарів присутні у вихідному шарі. Цей інструмент буде новий клас просторових об'єктів комбінуванням просторових об'єктів і атрибутів кожного класу просторових об'єктів. Об'єкти вхідного шару розбиваються об'єктами оверлейного шару, що перетинають їх. Атрибути об'єктів вхідного шару містять атрибути об'єктів вхідного і оверлейного шару.

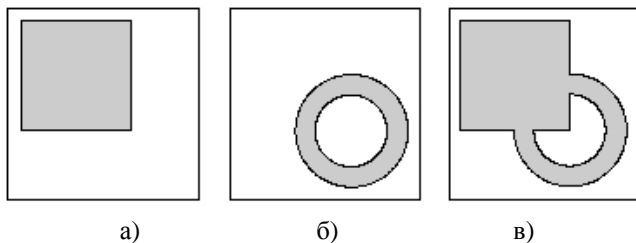


Рис. 8.3.3 – Об'єднання полігональних об'єктів двох шарів:
а) вхідний шар 1; б) оверлейний шар 2; в) вихідний шар 3

Операція об'єднання двох шарів може бути подана у формі булевої алгебри:

$$\text{Шар 1} \cup \text{Шар 2} = \text{Шар 3.} \quad (8.3.1)$$

Перетин

Перетин (Intersection) аналогічне булевому логічному оператору AND (І), обчислює геометричний перетин вхідних і оверлейних об'єктів. Об'єкти або частини об'єктів, загальні для всіх шарів і класів об'єктів, будуть записані в результуючий клас. Об'єкти вхідної карти, які не покриті об'єктами оверлейної карти, ігноруються. Атрибути полігонів вихідної карти містять атрибути полігонів вхідної і оверлейної карти.

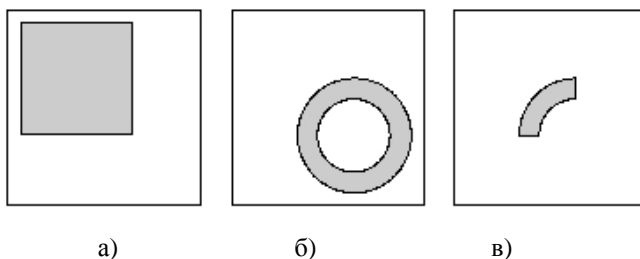


Рис. 2.4.3.4 – Перетин полігональних об'єктів двох шарів:
а) вхідний шар 1; б) оверлейний шар 2; в) вихідний шар 3

Операція перетину двох полігональних шарів може бути відображена у формі булевої алгебри

$$\text{Шар 1} \cap \text{Шар 2} = \text{Шар 3.} \quad (8.3.2)$$

Включення

Операція *включення* (Inclusion) визначає частину оверлейного шару, який міститься у вхідному шарі. Вихідний шар міститиме всі елементи першого вхідного шару, а також всі елементи другого вхідного шару, що існують в географічному просторі першого вхідного шару. Включення використовує вхідний шар як шаблон, в якому об'єкти оверлейного шару відсікаються на ребрах і об'єднуються.

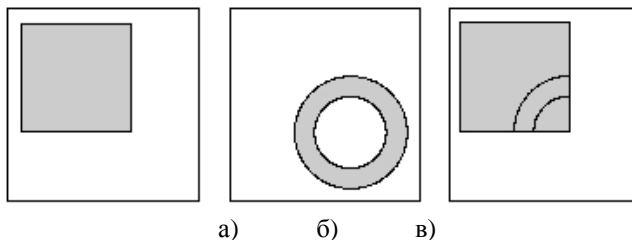


Рис. 2.4.3.5 – Включення полігональних об'єктів двох шарів
а) вхідний шар 1; б) оверлейний шар 2; в) вихідний шар 3

Операцію включення двох полігональних шарів можна відобразити у формі булевої алгебри:

$$(\text{Шар } 2 \subset \text{Шар } 1) \cup \text{Шар } 1 = \text{Шар } 3. \quad (8.3.3)$$

Виключення

Операція виключення (Exclusion) " $A \not\subset B$ " визначає частину вхідного шару, яка не міститься в оверлейному шарі. Вихідний шар міститиме тільки ті елементи першого вхідного шару, які не є географічним простором другого вхідного шару. Виключення використовує оверлейний шар як шаблон, яким об'єкти вхідного шару відсікаються по його ребрах.

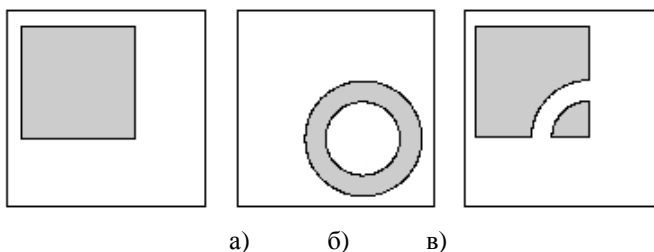


Рис. 8.3.6 – Виключення полігональних об'єктів двох шарів:
а) вхідний шар 1; б) оверлейний шар 2; в) вихідний шар 3

Операція виключення двох полігональних шарів може бути відображена у формі булевої алгебри

$$\text{Шар } 1 \not\subset \text{Шар } 2 = \text{Шар } 3. \quad (8.3.4)$$

8.4 Растрові оверлейні оператори

Векторні оверлейні оператори сприяють отриманню точнішого результату, але вони геометрично складні, що інколи може бути наслідком відносно повільної роботи оператора. Оверлейні програми з растрами (Raster overlay operators) не мають цього недоліку, оскільки більшість їх виконують обчислення "чарунка на чарунці", тому вони є швидкими. Керівним принципом є порівняння або комбінування характеристик місцерозташування, отримуваних з двох шарів.

Обробку растрів виконують за допомогою мови представлення операцій на растрах. Така мова використовується в калькуляторі растрів (Raster Calculator). Він дозволяє обчислити нові растри на підставі тих, що існують, використовуючи низку функцій і операторів. На жаль, обчислення растра відбуваються приховано під різними назвами і не всі пропонують ту ж функціональність. Обчислення растрів спирається на алгебру карти. При виробництві нового растра потрібно забезпечити ім'я для нього і визначити вираз обчислення. Це робиться в призначенні оператора наступного формату:

$$\text{Output_raster_name} := \text{Raster_calculus_expression} \quad (8.3.5)$$

(Ім'я вихідного растра := Вираження обчислення растра)

Вираз справа оцінюється програмою і растр, в якому потім зберігаються результати, називається ім'ям з лівого боку.

Вираження може містити посилання на існуючі растри, операторів і функцій. Імена растра і константи, які використовуються у виразі, називаються його операндами. Коли вираз створений, програма обчислюватиме накладення "чарунка на чарунці", починаючи від першої чарунки в першому ряду і продовжуючи до останньої чарунки в останньому ряду.

Програми ГІС мають широкий діапазон операторів і функцій, які можуть використовуватися в обчисленні растрів.

Арифметичні оператори

Вираз обчислення растра може включати арифметичних операторів (Arithmetic operators) +, -, *, /. Наприклад, обчислення растра на рис. 8.3.7 виконується на підставі наступного виразу:

$$Z := A + B.$$

1	1	4	+	7	6	5	=	8	8	9
1	3	2		7	4	3		8	7	5
4	2	1		6	2	4		10	4	5
A				C				B		

Рис. 8.3.7 Ілюстрація суми двох растрів

Вираз обчислення растра може також включати тригонометричні оператори sin, cos, tan, asin, acos, atan.

Вираз обчислення растра може включати декілька арифметичних операторів.

Оператори порівняння і логічні

Калькулятор растрів може використовувати операторів порівняння (Comparison operators) $<$, $<=$, $>=$, $>$, $<>$ і логічні оператори (Logical operators) AND, OR, NOT, XOR. Вираз $A \text{ XOR } B$ правильний, якщо прівильне або A або B , але не обидва. Приклад використання оператора порівняння:

$$Z := A <> B.$$

Оператори порівняння і логічні обчислюють растри на істиннісних значеннях "істина" (true) і "хибність" (false).

Умовні вирази

Умовні вирази (Conditional expressions) в калькуляторі растрів дозволяють визначити, де виконується умова. Загальний формат виразу виглядає таким чином:

Output raster := IFF(condition, then expression, else expression) (8.3.6)
(Вихідний растр := Умовна функція (умова; вираз, де умова виконується; вираз, де умова не виконується)).

Наприклад:

$$\text{IFF}(4 = 5, \text{"land"}, \text{"lake"}).$$

Комплексні вирази

Обробка растрів може виконуватися комплексними виразами, що включають арифметичних операторів, операторів порівняння і логічні на підставі їх табличних даних (Overlays using a decision table).

8.5 ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПІДГОТОВКИ

- 1) Наведіть визначення і загальну характеристику оверлейних функцій.
- 2) Які логічні операції булевої алгебри можуть бути для двох наборів даних?
- 3) Наведіть класифікації векторних оверлейних операцій.
- 4) Опишіть алгоритм операції "Точка в полігоні".
- 5) Опишіть алгоритм операції "Лінія в полігоні".
- 6) Наведіть загальну характеристику базових оверлейних операцій для векторних моделей.
- 7) Наведіть загальну характеристику базових оверлейних операцій для растрових моделей.

9. ФУНКЦІЇ ОКОЛУ

9.1 ВИЗНАЧЕННЯ ОКОЛУ

Під околом (Neighborhood) географічного об'єкта розуміється простір, який оточує його. У багатьох випадках придатність деякого місця розташування для певної мети залежить не тільки від того, що знаходиться в ньому, але й від того, що є біля нього. Тому геоінформаційні системи повинні надати можливість оцінити простір, прилеглий до певного місця, виконати аналіз близькості (Proximity).

Функції околу (Neighborhood functions) визначають характеристики близькості в околі місця розташування.

Щоб виконати аналіз околу, необхідно:

- 1) встановити, яке цільове місце розташування представляє інтерес і яка його просторова протяжність;
- 2) вирішити, як визначити окіл для кожної цілі;
- 3) визначити, які характеристики повинні обчислюватися для кожного околу.

Наприклад:

- метою може бути торговельний центр, його окіл може бути визначений як:
 - область в радіусі 2 км;
 - область в межах 10 хв їзди по дорозі;
 - сукупність житлових будинків, для яких торговельний центр найближчий;
- характеристикою можуть бути:
 - просторове видалення;
 - кількість людей, що проживають в околі торговельного центру;
 - кількість торговельних об'єктів в околі.

У природних середовищах виникають різні випадки розташувань, околу і особливостей сусідства.

Сучасні програмні продукти ГІС дозволяють виконати аналіз околу, як на векторних, так і на растрових моделях.

9.2 ОПЕРАЦІЇ ОКОЛУ У ВЕКТОРНИХ МОДЕЛЯХ

Для обчислення близькості використовують геометричну дистанцію щоб визначити окіл одного або більше географічних об'єктів. Найбільш загальним і корисним методом є генерування буферних зон (Buffer Zone Generation). Другим методом, що базується на геометричній дистанції, є генерування полігонів Тіссена (Thiessen Polygon Generation).

9.2.1 Генерування буферних зон

Визначення і призначення буферів

Буфер (Buffer) – це зона точно встановленої ширини окола точкового, лінійного або полігонального просторового об'єкта. У результаті генерування буфера створюється новий полігональний об'єкт – буферна зона. Завдання побудови буферних зон потребує визначення геометричного місця точок площини, віддалених від множини об'єктів не більше ніж на задану відстань.

Просторовий буфер може бути згенерований для аналізу близькості. Його використовують для того, щоб визначити області й об'єкти, які знаходяться або всередині, або поза певною буферною зоною.

Буферизація точкових просторових об'єктів

Буферизація точкових просторових об'єктів – найпростіша форма буферизації, оскільки процес включає створення круглого полігона відносно кожної точки, радіус якого дорівнює ширині буфера b .

Є два методи визначення ширини буфера. Перший використовує фіксовану ширину буфера для всіх точок шару, другий – кожній точці призначається індивідуальна ширина буфера, заснована на атрибутах цього шару, що зберігаються в таблиці (тобто зважена ширина).

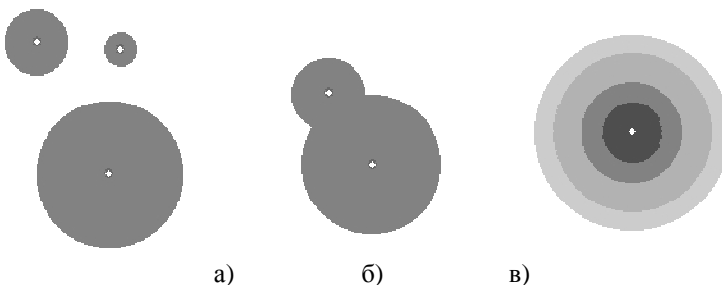


Рис. 9.2.1 – Буферизація точкових просторових об'єктів: а) буферні зони індивідуальної ширини, б) злиті буферні зони, в) концентричні буферні зони

Якщо є множина точок в шарі об'єктів буферизації, то система повинна перевірити перекриття буфера кожної точки. Будь-які частини, що накладаються, мають бути видалені. Тому результатом операції є полігони, що представляють області, покриті всіма буферами, що накладаються. Цей процес включає дві додаткові операції: перетин буферів і розчинення загальних меж буферів.

Буферизація лінійних просторових об'єктів

Алгоритм для буферизації лінійних просторових об'єктів складніший, ніж для буферизації точкових об'єктів, оскільки лінії можуть бути складені з множинних сегментів. Процес для буферизації лінійного просторового об'єкта наступний:

- 1) Кожному сегменту полілінії призначають відповідну ширину буфера (який може бути фіксованим для всіх ліній або зваженим). Ширину буфера називають буферною відстанню b .
- 2) Кожен сегмент полілінії має початкову вершину (X_1, Y_1) і кінцеву вершину (X_2, Y_2). Використовуючи ці координати, обчислюють різниці координат Δx і Δy між цими двома кінцевими точками.
- 3) Визначають координати кінцевих точок для паралельних буферних ліній кожного сегмента лінії з обох боків сегмента на перпендикулярі завдовжки b за формулами:

$$x_1 = X_1 \pm b \cdot \cos [\arctg ((y)/(x))] \quad (9.2.1)$$

$$y_1 = Y_1 \pm b \cdot \sin [\arctg ((y)/(x))] \quad (9.2.2)$$

і

$$x_2 = X_2 \pm b \cdot \cos [\arctg ((y)/(x))] \quad (9.2.3)$$

$$y_2 = Y_2 \pm b \cdot \sin [\arctg ((y)/(x))] \quad (9.2.4)$$

- 4) За отриманими координатами визначають рівняння граничних ліній буфера.
- 5) Розраховують перетин граничних ліній буфера для суміжних сегментів і призначають координати точки перетин.
- 6) У кожній вершині лінії граничні прямі лінії буфера спрягаються круговими кривими; у початковій і кінцевій точці полілінії граничні прямі лінії спрягаються півколом.
- 7) Окремі частини буфера полілінії зливаються в один буферний полігон.

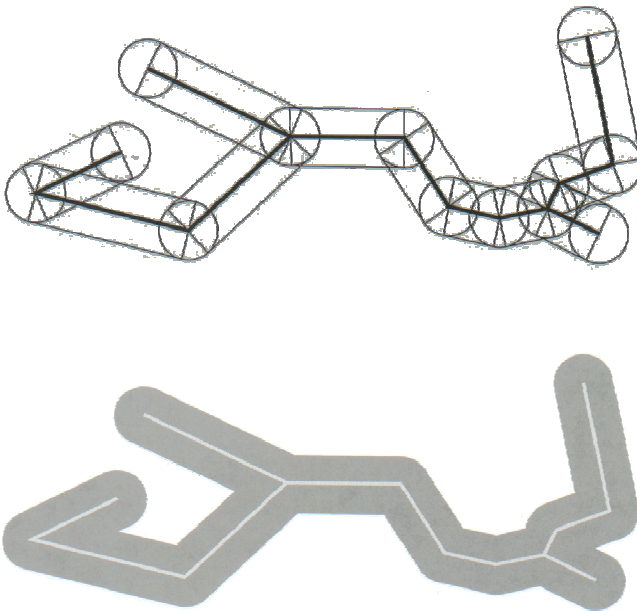


Рис. 9.2.2 – Буферизація лінійних просторових об'єктів [56]

Різні пакети програмного забезпечення ГІС можуть визначати кінці буфера різними методами:

- 1) Спряження початкової точки і кінцевої точки лінії з "напівкруговими" полігонами буфера радіуса b .
- 2) Просте відсікання паралельних буферних кінців.
- 3) Звуження паралельних буферних кінців, щоб зближувати кінцеві точки.

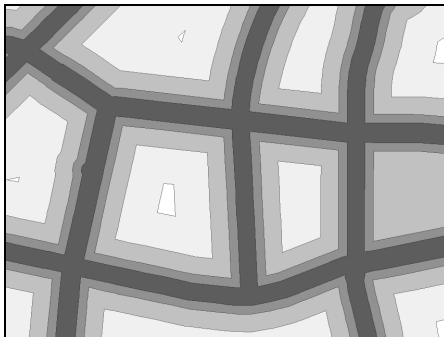


Рис. 9.2.3 – Зони вулично-дорожньої мережі

Якщо є множина ліній у вихідному шарі, то система повинна перевірити перекриття буферів для кожної лінії. Будь-які перетини, що накладаються, мають бути видалені так, щоб результатом операції були полігони, що представляють область, покриту всіма буферами. Цей процес включає дві додаткові операції: перетин буферів і розчинення загальних кордонів буферів.

Процес буферизації призводить до утворення нового шару в системі, що складається з полігональних даних, які представляють буферні зони. Таблиця результуючого полігона матиме ідентифікатори для кожного полігона, створеного в процесі буферизації, і додаткові атрибути: ширина буфера і вказівки, чи знаходиться полігон усередині вуличної зони, чи поза вуличною зоною.

Буферизація полігональних просторових об'єктів

Алгоритм буферизації полігональних просторових об'єктів використовує той самий процес, що й алгоритм буферизації ліній, з однією невеликою відмінністю – буферний полігон створений тільки на одній стороні лінії, яка визначає полігон. За умовчанням метод полягає в тому, щоб створити буфер поза полігоном, який оточує кордон полігона. Деякі пакети програмного забезпечення ГІС надають також опції, щоб створити буфер, який знаходиться усередині межі полігона. На рис. 9.2.4 представлений приклад можливих результатів буферизації полігона.

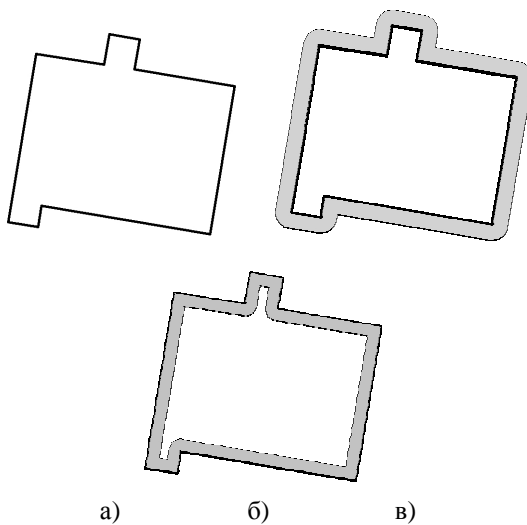


Рис. 9.2.4 – Буферизація площадкових просторових об'єктів:
а) вхідний полігон, б) зовнішній буфер, в) внутрішній буфер

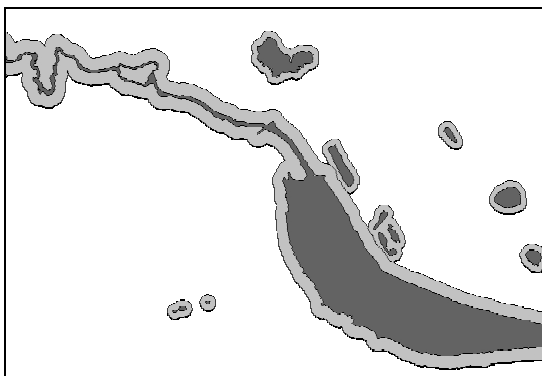


Рис. 9.2.5 – Прибережні захисні смуги водних об'єктів

Після побудови буферів виконують операції вибору об'єктів, що знаходяться в буферних зонах, і аналізу їх атрибутів.

9.2.2 Генерування полігонів Тіссена

Інший метод використання геометричної відстані для визначення околу просторово розподілених точок полягає в генеруванні полігонів Тіссена (Thiessen Polygon Generation).

Полігони Тіссена (Thiessen (1912)) – Вороного (Voronoi (1909)) – Дріхле (Dirichlet (1850)) – це полігональні області, що утворюються на заданій множині точок таким чином, що відстань від будь-якої точки області до даної точки менша, ніж для будь-якої іншої точки множини. Завдання побудови зони близькості вимагає визначення всіх точок площини, для яких відстань до об'єктів множини є мінімальною.

Межами полігонів Тіссена є відрізки перпендикулярів, відновлених до середини сторін трикутників у триангуляції Делоне, яка побудована відносно тієї ж точкової множини. Полігонам привласнюються атрибути точкових об'єктів.

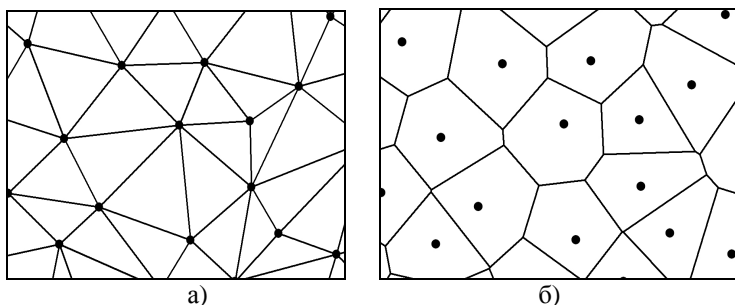


Рис. 9.2.6 – Генерування полігонів Тіссена:
а) триангуляція Делоне, б) полігони Тіссена

Полігони Тіссена розділяють територію на області близькості до заданих точок, тому можуть розглядатися як околи цих точок.

9.3 ОПЕРАЦІЇ ОКОЛУ В РАСТРОВИХ МОДЕЛЯХ

Операції околу в растрових моделях стають особливо важливим засобом, коли ситуація вимагає більшою мірою аналізу залежностей між локалізаціями, ніж інтерпретації характеристики в індивідуальних локалізаціях.

9.3.1 Функції фокальної статистики

Функції "Фокальні статистики" (Focal Statistics) обчислюють статистичні характеристики растрових даних у виділеному околу.

Сканована чарунка і сканований окіл

У методі сканування околу [58] операції околу на растрових моделях зазвичайно називаються "Фокальними функціями", оскільки кожна виконана операція генерує значення для "фокуса" околу. Фокус околу взагалі називають сканованою чарункою, а її довколишні сусідні чарунки називають сканованим оком. Сканований окіл може мати різні розміри і форми, які визначаються вибором відповідної опції в ГІС-пакеті. Найбільш загальні форми околу: квадрат, круг, кільце, клин (рис. 9.3.1).

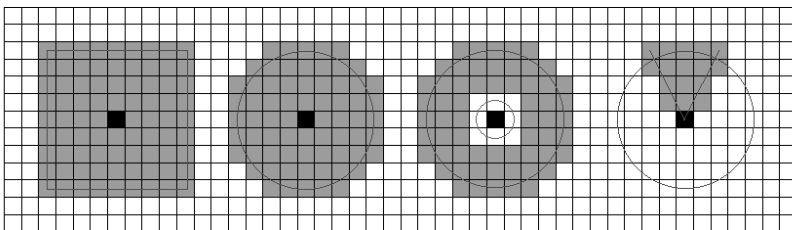


Рис. 9.3.1 – Форми сканованого околу: квадрат, круг, кільце, клин.

У наведених прикладах на рис. 9.3.1 сканована чарунка темно-сірого кольору, а чарунки сканованого околу світло-сірого кольору. Сканований окіл для кожної з цих форми включає скановану чарунку, за винятком острівного околу.

Користувач ГІС може визначати будь-яку форму і розмір для околу залежно від завдання.

Процес сканування околу

Операції околу працюють, переміщуючись растровою картою по одній чарунці. Як тільки чарунка відвідана, вона стає сканованою чарункою. Для цієї чарунки обчислюється нове значення як функція її сканованого околу. Всі обчислені значення потім поміщаються у відповідні чарунки вихідної карти.

Статистичний аналіз околу

Для аналізу можуть використовуватися різні статистичні характеристики, щоб характеризувати сканований окіл. Статистика, яка використовується в операціях околу, залежатиме від того, які типи даних вивчаються:

- дані співвідношень (Ratio);
- інтервальні дані (Interval);
- порядкові дані (Ordinal);
- номінальні дані (Nominal).

Модуль статистичного аналізу околу виконує дев'ять операцій.

- 1) *Сума (Sum)*. Ця операція складає значення сканованої чарунки і її сусідів (тобто чарунок сканованого околу) і зберігає цю суму у вихідній темі. Даними вхідної карти можуть бути дані співвідношень або інтервальні дані.
- 2) *Середнє (Average)*. Ця статистична операція обчислює середню величину даних, що існують у сканованому околі. Даними вхідної карти можуть бути дані відношень або інтервальні дані.
- 3) *Максимум (Maximim)*. Ця операція привласнює значення чарунки у сканованому околу, яке має найбільше значення. Даними вхідної карти можуть бути дані співвідношень, або інтервальні дані, або порядкові дані.
- 4) *Мінімум (Minimum)*. Ця операція привласнює сканованій чарунці найнижче значення в сканованому околу. Даними вхідної карти можуть бути дані співвідношень, або інтервальні дані, або порядкові дані.
- 5) *Медіана (Median)*. Ця операція привласнює сканованій чарунці серединне значення значення у сканованому околі. Даними вхідної карти можуть бути дані співвідношень, або інтервальні дані, або порядкові дані.
- 6) *Велика частина (Majority)*. Ця операція привласнює сканованій чарунці значення, яке повторюється найчастіше в сканованому околі. Даними вхідної карти можуть бути дані співвідношень, або інтервальні дані, або порядкові дані, або номінальні дані.
- 7) *Менша частина (Minority)*. Ця операція привласнює сканованій чарунці значення, яке повторюється найменш часто у сканованому околі. Даними вхідної карти можуть бути дані співвідношень, або інтервальні дані, або порядкові дані, або номінальні дані.
- 8) *Різноманітність (Diversity)*. Ця операція привласнює сканованій чарунці значення, що дорівнює числу різних у сканованому околі.

Даними вхідної карти можуть бути дані відношень, або інтервальні дані, або порядкові дані, або номінальні дані.

- 9) *Амплітуда (Range)*. Ця операція привласнює сканованій чарунці значення, що дорівнює різниці між максимальним і мінімальним значенням у сканованому околі. Даними вхідної карти можуть бути дані співвідношень, або інтервальні дані, або порядкові дані, або номінальні дані.

3	7	16
7	16	11
11	16	25

Рис. 9.3.2– Приклад сканованого околу

Приклад сканованого околу представлений на рис. 9.3.2. Для цього прикладу статистичні операції над сканованою чарункою і її сканованим оточенням представлені результатами:

Сума	= 112
Середнє	= 12,44 (112 / 9)
Максимум	= 25
Мінімум	= 3
Медіана	= 11 (3,7,7,11,11,16,16,16,25)
Велика частина	= 16
Менша частина	= 25
Різноманітність	= 5 (3,7,11,16,25)
Амплітуда	= 22(25 – 3)

9.3.2 Функції розповсюдження

Визначення околу одного або більше цільових місць (джерел) може залежати не тільки від відстані, але й також від напрямку і відмінностей місцевості в різних напрямках. Звичайне цільове місце розташування містить "Вхідний матеріал", який поширюється через деякий час. Цей "вхідний матеріал" може бути повітрям, водою або забрудненням землі, пасажиром поїзда, які виходять, весняними водами, радіохвилями від ретрансляційної станції.

Провідні методи аналізу околу полягають в обчисленні *розповсюдження* (Spread computations). Функції розповсюдження засновані на припущенні, що явище розповсюджується на всіх

напрямах, хоча не обов'язково однаково на всіх напрямках. Тому вони використовують локальні особливості місцевості, щоб обчислити локальний опір розповсюдження. Локальні чинники місцевості впливають на розповсюдження, роблячи його легшим або складнішим. Багато ГІС-програм забезпечують підтримку цього виду обчислення розповсюдження.

У ArcGIS 9.x цей вид аналізу околу забезпечують функції витратної відстані (Cost distance functions). Тут під терміном "витрати" (Cost) в геопросторовому аналізі розуміється будь-який вид прямих або відносних витрат на переміщення, виражених у вибраних одиницях, – вартості, довжини, часу енергії, опору, імпедансу і т. п.

Растр витрат

Растр витрат (Cost raster) визначає витрати на розповсюдження через кожну чарунку.

Обчислення розповсюдження включає одне або декілька цільових місць, які є розташуваннями джерела будь-якого розповсюдження. Джерело представляє розташування об'єкта інтересу.

У загальному випадку растр витрат створюється на підставі декількох критеріїв. Наприклад, для створення растру витрат території для будівництва дороги входними даними можуть бути: А – растр типів ґрунтів, значення чарунок якого є код типів ґрунтів, В – растр ухилів рельєфу, значення чарунок якого виражені у відсотках крутості схилу.

Вхідні набори даних можуть бути в різних системах виміру. Тому для спільного використання їх необхідно привести до загальної шкали. Один з методів приведення до загальної шкали є перекласифікація (Reclassifying) наборів даних. Наприклад, для будівництва дороги растр використання землі та растр ухилів рельєфу можуть бути перекласифіковані за шкалою 1–10. При цьому метод перекласифікації для кожного растру визначається впливом значення атрибута на відносні витрати на будівництво дороги.

Наступним кроком у створенні растра витрат є об'єднання приведених до загальної шкали растрів. При рівному впливі початкових наборів даних на результат виконують просте складання двох растрів. При різному впливі початкових наборів даних на результат виконують зважене складання двох растрів. Наприклад, для будівництва дороги підсумковий растр витрати може бути отриманий за виразом:

$$C := A * P_A + B * P_B, \quad (9.3.1)$$

де P_A, P_B – ваги растрів.

Функція витратної відстані

Функція "Витратна відстань" (Cost distance) створює вихідний растр відстаней в одиницях накопичених витрат, в якому кожній чарунці привласнюється значення, що представляє найменші накопичені витрати на переміщення від цієї чарунки до найближчого джерела. При цьому окіл задається максимальною відстанню від джерела. Для обчислення вихідного растру відстаней в одиницях накопичених витрат потрібні растр з джерелом і растр витрат.

Алгоритм обчислення використовує представлення чарунки вузол/зв'язок. У представленні вузол/зв'язок кожен центр чарунки вважається вузлом, а кожен вузол з'єднаний з сусідніми вузлами зв'язками.

При переході від чарунки до однієї з чотирьох сусідніх чарунок витрати на переміщення по зв'язках з сусідніми вузлами отримують за формулою:

$$a1 = (cost1 + cost2) / 2, \quad (9.3.2)$$

де $cost1$ – витрати чарунки 1, $cost2$ – витрати чарунки 2 і $a1$ – загальні витрати зв'язку з чарунки 1 у чарунку 2.

Якщо переміщення відбувається по діагоналі, шлях збільшується в $1.414214 = \sqrt{2}$ разів, тому витрати переміщення по зв'язку отримують за формулою:

$$a1 = 1.414214 (cost1 + cost2) / 2 \quad (9.3.3)$$

Алгоритм використовує ітеративний процес, що починається з вхідних чарунок. У першій ітерації чарункам джерела призначається нуль, оскільки немає накопичених витрат на повернення до себе. Далі всі сусіди чарунок-джерел активізуються, і витрати призначаються зв'язкам між вузлами чарунок-джерел і вузлами сусідніх чарунок з використанням вказаних вище формул. У подальшій ітерації список активних сусідніх чарунок розширюється з використанням чарунки найнижчих витрат.

Накопичені витрати (Accumulative cost) уздовж шляху найменших витрат обчислюються як проста сума витрат на переміщення по зв'язках від попарних чарунок околу:

$$\text{Accum_cost} = a1 + a2 + \dots \quad (9.3.4)$$

Одержане значення привласнюється чарунці, що відповідає початку переміщення до найближчого джерела. Результатом цього процесу є растр накопичених витрат або зваженої відстані.

1	1	1	2	8	14.50	14.95	15.95	17.45	22.45
4	4	5	4	9	12.00	12.45	14.61	16.66	21.44
4	3	3	2	10	8.00	8.95	11.95	13.66	19.66
4	5	6	8	8	4.00	6.36	8.00	10.00	11.00
4	2	1	1	1	0.00	3.00	4.50	5.50	6.50

Рис. 9.3.3 – Обчислення розповсюдження [54]

Функція "Витратна відстань" знаходить широке використання при визначенні шляху найменших витрат в багатьох застосуваннях, наприклад, при проектуванні траси дороги або магістрального трубопроводу.

Функція напрямку найменших витрат

У пошукових обчисленнях (Seek computations) передбачається, що для повернення до джерела феномен вибере шлях найменших накопичених витрат, а не розповсюдження на всіх напрямках. Прикладом можуть бути потоки дощових опадів. Це потребує обчислення локального напрямку поширення, якому віддається перевага.

Функція "Напрямок найменших витрат" (Cost Back Link) в ArcGIS 9.x для кожної чарунки растру накопичених витрат обчислює суміжну чарунку з найменшими накопиченими витратами. Кожній чарунці привласнює код напрямку на суміжну чарунку з найменшими накопиченими витратами відповідно до системи кодування на рис. 9.3.4.

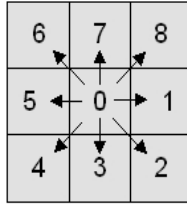


Рис. 9.3.4 – Схема кодування напрямів

Ілюстрація функції напрямку найменших витрат представлена на рис. 9.3.5.

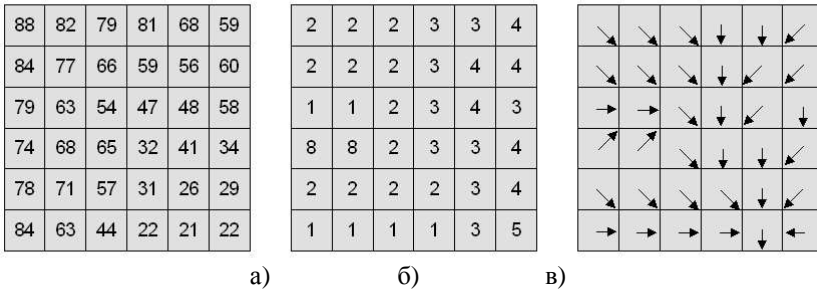


Рис. 9.3.5 – Ілюстрація функції напрямку найменших витрат:
а) растр накопичених витрати, б) растр кодів напрямів, з) растр напрямів

9.3.3 Функції розподілу

Функція "Розподіл"

Функція "Розподіл" (Allocation function) створює вихідний растр, в якому кожній чарунці привласнюють значення найближчої до неї чарунки-джерела. Функція "Розподіл" дозволяє визначити, які чарунки, до якого джерела належать, на підставі значення по прямій.

	2	2			
		2			
1					

а)

2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2
1	2	2	2	2	2
1	1	1	2	2	2
1	1	1	1	1	2

б)

Рис. 9.3.6 – Ілюстрація функції розподілу:
а) растр джерело, б) растр розподілу

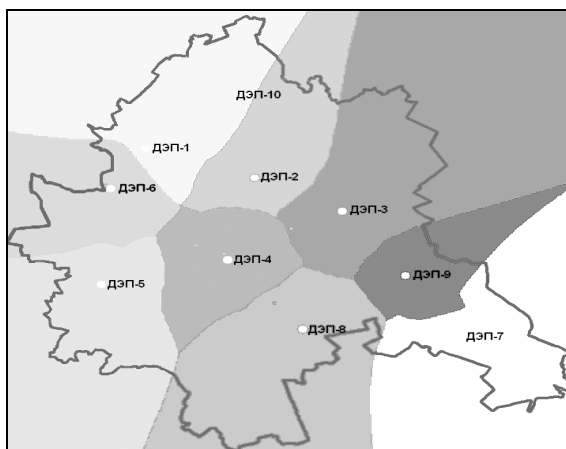


Рис. 9.3.7– Приклад розподілу зон обслуговування вулично-дорожньої мережі

Функція розподілу використовується для визначення найближчих об'єктів до об'єкта-джерела. Наприклад, а) найближчих пожежних гідрантів до об'єкта пожежогасіння, б) зони обслуговування вулично-дорожньої мережі до технічних баз дорожньо-експлуатаційних служб міста (рис. 9.3.7).

Функція "Витратний розподіл"

Функція "Витратний розподіл" (Cost Allocation) обчислює для кожної чарунки її найближче джерело за найменшими накопиченими витратами растру накопичених витрат.

	2	2			
		2			
1					

1	3	4	4	3	2
7	3	2	6	4	6
5	6	7	5	6	6
1	4	5		5	1
4	7	5		2	6
1	2	2	1	3	4

2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2
1	2	2	2	2	1
1	1	2		1	1
1	1	1		1	1
1	1	1	1	1	1

Рис. 9.3.8 – Ілюстрація функції витратного розподілу:
а) растр джерело, б) растр витрат, в) растр розподілу

9.4 ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПІДГОТОВКИ

- 1) Що є окіл?
- 2) Для чого виконується буферизація точкових просторових об'єктів?
- 3) Опишіть алгоритм буферизації лінійних просторових об'єктів.
- 4) Опишіть буферизацію полігональних просторових об'єктів.
- 5) Для чого генеруються полігони Тіссена?
- 6) Як виконується статистичний аналіз околу?
- 7) Як створюється растр витрат і растр витратних відстаней?
- 8) Як побудувати растр напрямів найменших витрат?
- 9) У чому полягає відмінність між функцією розподілу і функцією витратного розподілу?

10. ФУНКЦІЇ ЗВ'ЯЗНОСТІ

10.1 ВИЗНАЧЕННЯ І ХАРАКТЕРИСТИКА МЕРЕЖІ

Функції зв'язності дозволяють виконувати мережний аналіз.

У геоінформаційних системах мережа (Network) – це система з'єднаних точками просторових лінійних об'єктів.

Мережі представляють географічні об'єкти для транспортування речовини енергії, інформації, наприклад, мережа доріг – автомобільних, залізничних; вулично-дорожня мережа міста; мережі маршрутного транспорту, в тому числі пасажирського; мережі інженерної інфраструктури міста – водопостачання, водовідведення, тепlopостачання, газопостачання, електропостачання; мережа гідрографії водотоків і т. д. По мережах може транспортуватися майже все: люди, машини, речі, продукція, забруднення води в річках, телефонні повідомлення в телефонній мережі.

На мережах вирішується множина різних транспортних завдань на основі мережного аналізу (Network analysis):

- 1) управління інфраструктурою і її розвитком на основі бази даних на всі об'єкти транспортного процесу (аналіз транспортних потоків і пасажиропотоків, планування і аналіз маршрутної мережі, складання і аналіз звітів по ДТП), реструктурування маршрутів, підтримка експлуатації системи енергопостачання, сигналізації і зв'язку);
- 2) управління парком рухомих засобів і логістика (знаходження оптимального маршруту, завдання комівояжера, транспортне завдання, – повномасштабна організація перевезення різних вантажів з багатьох джерел за багатьма адресами, мультимодальне транспортування);
- 3) управління рухом (стеження за транспортними засобами за допомогою GPS, диспетчеризація, ув'язка розкладів з іншими видами транспорту).

Мережний аналіз може виконуватися на векторних або растрових даних. Мережі на векторних даних мають наступні особливості.

- У векторних даних лінійні просторові об'єкти *природно асоціюються* з елементами географічних об'єктів і дозволяють обробляти типові транспортні характеристики, такі як пропускна

спроможність і витрати на одиницю. Крім того, мережний аналіз на векторних даних дозволяє отримати точніші результати.

- Мережа визначається *топологічно з'єднаними* її елементами. Кожен лінійний просторовий об'єкт (дуга) має початкову і кінцеву точки. Дуги приєднуються одна до одної у вузлах, формуючи зв'язність (Connectivity) мережі. Зв'язність мережі робить можливим виконання мережного аналізу. Зв'язність мережі використовується також для визначення міри складності мережі.
- Найважливішою особливістю будь-якої мережі є її *направленість*. За направленістю мережі розділяють на транспортні й інженерні. *Транспортні мережі* – це не направлені мережі. Це означає, що рух по лінії принципово може бути в прямому і зворотному напрямі, хоча організація руху може передбачати однобічний рух. Транспортні мережі моделюють використовуючи мережні набори даних. *Інженерні мережі* – це направлені мережі. Потoki речовини переміщуються в одному напрямі лінії. Інженерні мережі моделюють, використовуючи геометричні мережі.
- Мережі можуть бути *однорівневими* або багаторівневими. Для багатьох додатків мережного аналізу використовують однорівневі (планові) мережі, що розглядаються в двовимірному просторі, наприклад, водні потоки. Планові мережі легші в обробці, оскільки вони мають топологічні правила. Багаторівневі мережі не розглядаються як планові, оскільки вони мають багаторівневі перетини, наприклад, тунелі, шляхопроводи, підземні переходи.

Математично мережі описуються теорією графів, а рішення мережних завдань виконується засобами лінійного програмування. Програмними пакетами ГІС підтримуються різні функції просторового аналізу на мережах. Базовими класичними функціями є:

- знаходження кращого шляху, яка генерує з найменшими витратами на мережі між парою встановлених місць на підставі геометричних і атрибутивних даних;
- розділення мережі, яка призначає елементам мережі (вузлам або сегментам) різні місця розташування, використовуючи зумовлені критерії.

Сучасний мережний аналіз використовує спеціальну модель даних – геометричну мережу. Геометрична мережа – це колекція зв'язаних ребер (Edges) і з'єднань (Junction) з правилами зв'язності, яка використовується для представлення і моделювання поведінки загальної мереженої інфраструктури в реальному світі. Ребра і з'єднання можуть бути простими і складними. Прикладами ребер є осі доріг, трубопроводи, середні лінії річок. Прикладами складних

Ця вимога може мати впорядкований і нерегульований характер. У впорядкованому пошуку оптимального шляху визначена послідовність, в якій ці додаткові вузли повинні відвідуватися; у нерегульованому пошуку оптимального шляху не визначена послідовність відвідування додаткових пунктів.

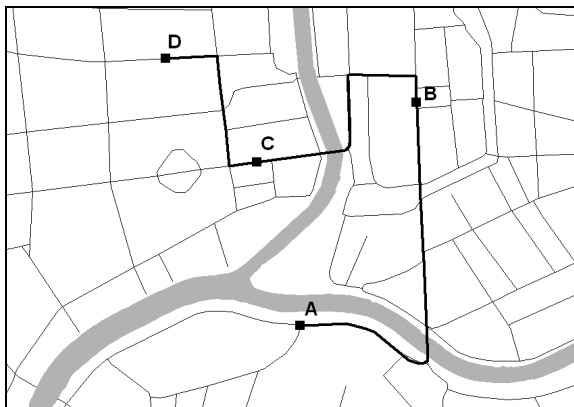


Рис. 10.2.2 – Маршрут А–D з додатковими вузлами В, С

Функція витрат може бути простою, наприклад, вона може визначатися як загальна довжина всіх ліній на дорозі. Функція витрат може бути комплекснішою, наприклад, аргументами якої будуть не тільки довжини ліній, але і пропускна спроможність, максимальний тариф перевезення й інші особливості. Можливий також детальний облік витрат на повороти в кожному вузлі – при вході на вузол по одній лінії і виході з вузла по іншій, а також заборонених /дозволених напрямів руху.

10.3 Розділення мережі

Розділення мережі (Network Partitioning) має на меті призначення лініям і вузлам мережі деякої кількості цільових місць розташування взаємовиключним способом. До цієї групи належать функції розподілу мережі й трасування.

Розподіл мережі

Зазвичай цільові розташування відіграють роль центру обслуговування для мережі. Це може бути будь-який вид сервісу: поліклінічне обслуговування, шкільна освіта, постачання водою. Тип розділення мережі відносно центрів обслуговування відомий як "Розподіл мережі" .

Нехай є ряд цільових місць розташування, що функціонують як ресурсні центри. При розподілі мережі (Network allocation) проблема полягає в тому, щоб розділити мережу на частини, яким призначають певний центр обслуговування виключно. У простій проблемі розподілу сервісний центр призначається тим лініям або сегментам, за якими він найближчий або знаходиться в межах заданої відстані. У складній проблемі розподілу виникає необхідність обліку додаткових чинників, наприклад, а) потужність центру (кількість відвідин поліклініки, кількість школярів, кіловати), б) споживання ресурсів, яке може змінюватися між лініями або сегментами лінії. Слід також мати на увазі, що деякі вулиці відрізняються кількістю випадків, дітей, що проживають там, об'єктів промисловості з високим споживанням електрики, суміжних земельних ділянок (рис. 10.3.1).

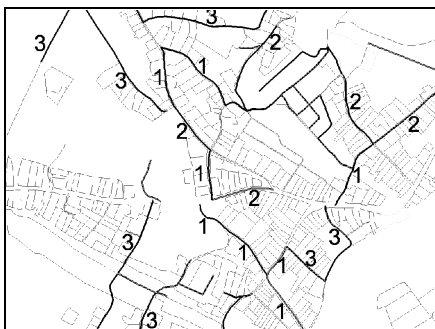


Рис. 10.3.1 – Категорії вулиць за кількістю суміжних земельних ділянок

Мережа обслуговування (Service net) будь-якого центру – це підмножина дистрибуторської мережі, фактично зв'язана частина мережі. Існують різні методи, щоб зарахувати мережу ліній або їх сегменти до визначеного центру. У ArcGIS 9.x це завдання вирішується функцією "Область обслуговування" (Service area) рис. 10.3.2.

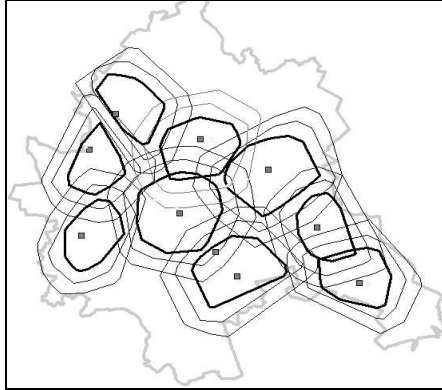


Рис. 10.3.2 – Області обслуговування, віддалені від дорожньо-експлуатаційних управлінь міста по реальних шляхах на 3, 4, 5 км



Рис. 10.3.3 – Мережа обслуговування доріг, віддалених по реальних шляхах до 3,5 км від одного дорожньо-експлуатаційного управління

Трасування

Мережевий аналіз включає функцію "Трасування" (Tracing). Трасування по геометричній мережі створює зв'язані набори елементів мережі, відповідно до деякої умови.

За допомогою інструментів трасування можна знайти:

- всі елементи мережі, які розташовані вище або нижче за течією від заданої точки на мережі (рис. 10.3.4, 10.3.5);

- загальні витрати всіх елементів мережі, які розташовані вище за течією від заданої точки на мережі ;
- загальні просторові об'єкти, які розташовані вище за течією від заданої точки;
- всі об'єкти, які зв'язані або не пов'язані з даною точкою через мережу;
- петлі, які можуть бути результатом маршрутів між точкою на мережі.

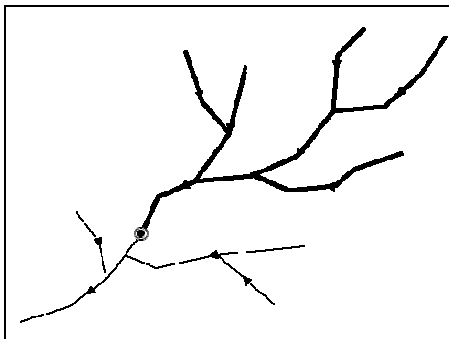


Рис. 10.3.4 – Трасування по геометричній мережі вище за течією

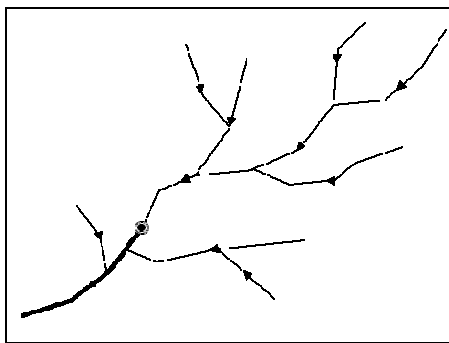


Рис. 10.3.5 – Трасування по геометричній мережі вниз за течією

Трасування виконується, коли потрібно дізнати, яка частина мережі умовно з'єднується з вибраним вузлом на мережі, відомим як початок траси. Для вузла (або лінії) бути умовно зв'язаним означає, що існує шлях від вузла/лінії до початку траси і що шлях з'єднання

виконує низку умов. Якими є ці умови, залежить від завдань. Вони можуть включати напрям шляху, місткість, довжину, необхідні ресурси уздовж шляху тощо. Умова звичайна – це логічне вираження, наприклад:

- шлях повинний прямувати від вузла/лінії до початку траси;
- його місткість (визначувана як мінімальна місткість ліній, які складають шлях) має бути нижче встановленого порогу;
- довжина шляху не повинна перевищувати встановленої максимальної довжини.

Трасування може бути корисною функцією для багатьох проблем, зв'язаних з інженерними мережами. Наприклад, визначення розміщення вентилів вище за течією при аваріях в розподільних інженерних мережах.

* * *

Наведені та інші функції зв'язності разом із відповідними задачами ГІС-аналізу представлені далі у розділі 12.3.3 "Пошук місця розташування в мережній моделі простору"

10.4 ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПІДГОТОВКИ

- 1) Що таке окіл?
- 2) Для чого виконується буферизація точкових просторових об'єктів?
- 3) Опишіть алгоритм буферизації лінійних просторових об'єктів.
- 4) Опишіть буферизацію полігональних просторових об'єктів.
- 5) Для чого генеруються полігони Тіссена?
- 6) Як виконується статистичний аналіз околу?
- 7) Як створюється растр витрат і растр витратних відстаней?
- 8) Як побудувати растр напрямів найменших витрат?
- 9) У чому полягає відмінність між функцією розподілу і функцією витратного розподілу?

Частина 3.

ЗАДАЧІ ГІС-АНАЛІЗУ

11. АНАЛІЗ МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ

11.1 Типи задач і цілі аналізу місця розташування

Першій категорії задач ГІС-аналізу відповідає в оригіналі просторовий запит: Location: What is at..? (Місце розташування: Що є в даному місці?).

11.1.1 Розуміння місця і місця розташування

Поняття "місця" є центральним поняттям просторового аналізу. Визначення завдань і цілей аналізу місць розташування залежить від того, що розуміється під термінами "місце" і "місцеположення".

Під терміном "*місце*" (place) розуміється "частина земного простору, територія, де що-небудь перебуває або відбувається, ділянка земної поверхні, місцевість" [18]. У географії місце – це область з певними або невизначеними межами або частина географічного простору. Іншими словами, "місце" представляється деякою сукупністю географічних об'єктів певного географічного простору й саме є комплексним географічним об'єктом. Люди ототожнюють себе з місцями різних розмірів і форм, від кімнати до ділянки землі, околиці, міста, округу, району, області чи держави [19]. Місця можуть перекриватися, наприклад, коли водозбірний басейн охоплює два райони. Місця можуть бути вкладеними ієрархічно, наприклад, коли території сільських рад об'єднуються в адміністративні райони, а останні – в області. Люди використовують назви місць, щоб говорити про них і розрізняти їх. Деякі імена є офіційними, отримавши визнання органів управління, до повноважень яких входить встановлення географічних назв. Місце може змінювати геометричні властивості та змістові властивості з часом. Міста, наприклад, розширюють межі, чисельність населення міста змінюється, невеликі села зникають. Люди пов'язують величезну кількість інформації з місцями. Таким чином, поняття "місця" має широкий зміст. У ГІС місце може бути представлено точковим, лінійним чи полігональним просторовим об'єктом.

Під терміном "*місце розташування*" (location) розуміється географічне положення місця, місцеположення відносно землі. Місце розташування має два ключових аспекти: абсолютне й відносне

розташування. Абсолютне місце розташування визначається в загальній системі координат. Відносне місце розташування описує місце відносно навколишнього середовища і його зв'язок з іншими місцями. Відносне місце розташування визначається просторовим відношенням до інших сутностей. Аналіз відносного місцезнаходження між географічними об'єктами можливий тільки за моделлю (наприклад, на карті), яка відображає розташування їхньої сукупності в просторі. Таким чином, карта дозволяє виявляти просторові відносини між ними та з іншими об'єктами місцевості. Це головне призначення карти.

Геоінформаційні системи призначені для обробки географічної інформації. "Географічна інформація – це інформація про місця (places) на поверхні Землі, знання щодо того, де знаходиться щось, знання щодо того, що є у певному місці" [20]. У Національному стандарті України ДСТУ ISO 19101:2002 (Е) дається таке визначення: "географічна інформація (Geographic Information) – інформація про об'єкти та явища, які безпосередньо або опосередковано пов'язані з певним місцезнаходженням відносно землі" [21, (4.16)].

11.1.2 Типи вирішуваних задач при аналізі місця розташування

Аналіз місця розташування у ГІС має на меті отримати відповіді на два питання: "Що це?" ("What is it?") і "Де це?" ("Where is it?"). При аналізі місця розташування важливіше отримати відповідь на комплексне питання: "Що є де?" ("What Is Where?").

Компонент "Що" ("What") асоціюється з географічним об'єктом, з тим, що являє собою географічний об'єкт, як він виглядає. Тому компонент "Що" пов'язаний з тематичними атрибутами географічного об'єкта, з його просторовими властивостями, і, перш за все, формою, розмірами. Відповіді на поставлені питання "Що" можуть бути отримані в результаті вирішення завдань аналізу місця, які асоціюються з визначенням конкретних властивостей, характеристик одиничних або безлічі об'єктів.

Компонент "Де" ("Where") асоціюється з місцем розташування (Position, Location) – географічним розташуванням місця, місцезнаходженням. Більшість географічних досліджень починається з вивчення розташування місць.

Аналіз місця розташування включає такі типи задач:

- ідентифікація географічних об'єктів, місць на карті;
- візуальний аналіз місцевості, класифікація;
- обчислення кількостей географічних об'єктів на певній території;

- обчислення щільності географічних об'єктів на певній території;
 - аналіз оточення географічних об'єктів.
- У кожному разі задачі аналізу конкретизуються предметною областю.

11.2 ІДЕНТИФІКАЦІЯ ГЕОГРАФІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

У геоінформаційних системах географічні об'єкти представляються двома основними типами моделей: векторними і растровими. У векторній моделі географічні об'єкти представляються графічними примітивами – точковими, лінійними і полігональними просторовими об'єктами. У растровій моделі географічні об'єкти представляються матрицею чарунков. Кожен шар – це один атрибут. Розмір чарунки визначає точність відображення географічних об'єктів і результату аналізу.

Для просторового аналізу важливою є інформація про те, що являє собою географічний об'єкт, як він виглядає, інформація про структуру, просторову цілісність, характер мінливості об'єктів.

11.2.1 Основні типи географічних об'єктів

Наш світ складається з безлічі географічних об'єктів, яку для виконання аналізу доцільно декомпозувати за типами. Тип географічних об'єктів визначають сутність процесу аналізу, вибір методу і порядку аналізу. Відповідно до класифікації, представлені Енді Мітчеллом [3], географічні об'єкти можуть являти собою:

- дискретні явища,
- безперервні явища,
- об'єкти, узагальнені за площею.

Дискретні географічні об'єкти – це окремі макротіла, явища реального земного простору. Кожен дискретний об'єкт:

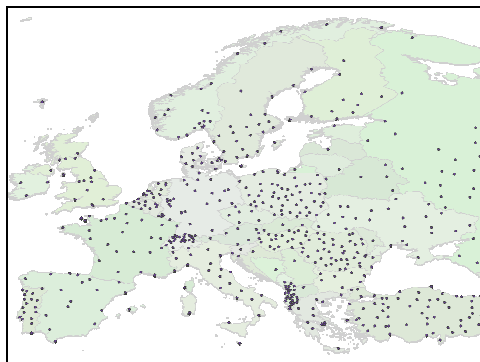
- відмежований від інших об'єктів у просторі і / або в часі,
- завжди займає точно визначене місце розташування в просторі.

Прикладами дискретних географічних об'єктів можуть бути колодязі, дороги, трубопроводи, будівлі, квартали, зони.

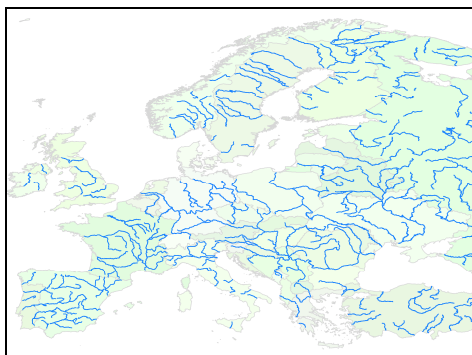
Характерні ознаки дискретного явища:

- наявність досліджуваної ознаки тільки в межах об'єкта;
- незмінність значення даної ознаки в точці, протягом лінійного відрізка або в межах площі.

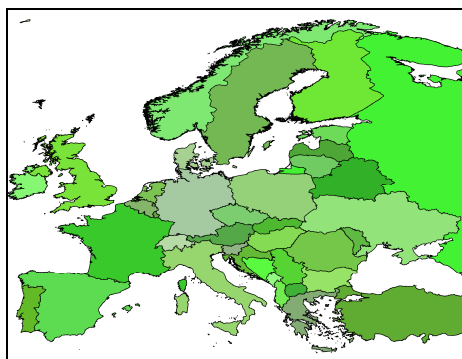
Дискретні явища моделюються точковими, лінійними або полігональними просторовими об'єктами.



а)



б)



в)

Рис. 11.2.1 – Дискретні просторові об'єкти: точкові (а), лінійні (б), полігональні (в)

Безперервні явища (поля) характеризують територію в цілому, а не окремі об'єкти. Безперервні явища – це явища, які змінюються у просторі постійно та не мають проміжків. Наприклад: поверхні, опади, температура можуть вимірюватися в будь-якому місці території і характеризувати її в цілому.

Безперервність явищ виявляється в тому, що неможливо вказати проміжки на площі поширення явищ, в яких би вони були відсутні. Незважаючи на те, що дані змінюються безперервно, межами вказують дискретну зміну величини (наприклад, типи ґрунтів). Безперервні об'єкти заповнюють всю моделюючу поверхню, "пронизуючи" один одного, їх можна трактувати як властивості простору або самої модельованої поверхні. Безперервні дані представляють у вигляді:

- безперервних поверхонь, підкреслюючи зміни кількісного показника із зміною місця;
- регулярних або нерегулярних множин точок; ГІС оцінює наявність даних цього типу за щільністю спостережень;
- обмежених площ, які вміщують дані одного типу; межа площі вказує на дискретну зміну показника на площі.



Рис. 3.1.2.2 – Безперервні явища

Об'єкти, узагальнені за площею, відображають узагальнену характеристику або концентрацію окремих об'єктів у межах даної області. Об'єкти, узагальнені за площею, характеризують загальну кількість інших об'єктів у межах даної площі або їх узагальнені показники. Значення показника характеризує площу в цілому, а не кожен її точку окремо.

Статистичні показники узагальнюються для певної території. Узагальнені показники характерні для адміністративних районів,

поштових відділень, підрайонів міліції. Приклад об'єктів, узагальнених за площею: кількість будинків у межах округи, щільність вулично-дорожньої мережі, населення житлових кварталів. Дані можуть надходити вже в узагальненому, агрегованому вигляді. Наприклад, ділова інформація узагальнюється в межах виробничих, адміністративних або інших ланок.

Дані можуть бути створені шляхом:

- статистичного аналізу – за кодом, який визначає їх приналежність до якоїсь площі;
- оверлейного аналізу – графічно виділяються об'єкти, розміщені в межах зазначених площ.

Узагальнювати можна як дискретні, так і безперервні події.

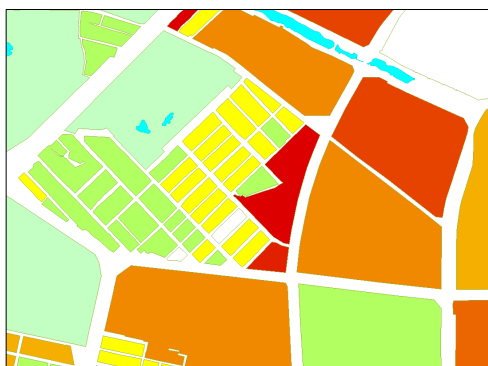


Рис. 11.2.3 – Об'єкти, узагальнені за площею

За структурою географічні об'єкти поділяються на елементарні (прості), складені та складні.

- Елементарний об'єкт не має складових частин (наприклад, окрема будівля).
- Складений об'єкт утворюється групою інших об'єктів за певним (спрямованим) порядком при утворенні визначуваного об'єкта (наприклад, окрема будівля, що складається з частин).
- Складний об'єкт утворюється групою інших об'єктів (елементарних, складених, складних), порядок проходження яких при утворенні визначуваного об'єкта не фіксований (наприклад, ансамбль будівель).

За формою існування географічні об'єкти підрозділяються на матеріальні (реальні) й абстрактні (віртуальні).

- Реально існуючі географічні об'єкти, явища і події можуть сприйматися або безпосередньо, за допомогою органів чуття, або опосередковано, із застосуванням приладів.
- Віртуальні об'єкти можуть не існувати в реальності, але бути відображеними. До них належать об'єкти, що існували в минулому, існування яких передбачається в майбутньому і уявні. Уявними об'єктами є межі, червоні лінії, горизонталі, проєктовані споруди і т. п.

11.2.2 Геометричні об'єкти високого рівня

Серед об'єктів представленої класифікації доцільно виділяти геометричні об'єкти високого рівня.

Об'єктами високого рівня називають об'єкти, які несуть специфічне навантаження і мають особливе значення для аналізу [22, с. 220 – 229]. Ці об'єкти утворюються різноманітними засобами: одні в процесі цифрування, інші – шляхом обчислення. Об'єкти високого рівня також діляться на точкові, лінійні та полігональні.

Точкові об'єкти високого рівня

Основними типами точкових об'єктів високого рівня є центри, центроїди, вузли й сукупності точок. Вони виконують низку важливих функцій в ГІС.

Центри і центроїди

У векторних ГІС центри й центроїди часто використовуються як "ідентифікаційні точки" полігонів. Точковими об'єктами, які представляють полігон, можуть бути: 1) центр екстента, 2) серединний центр, 3) центроїд. Для аналітичних цілей вони використовуються в якості об'єктів, які представляють полігони. Центр і центроїд повинен знаходитися в області або полігоні, щоб виконувати функцію точкового об'єкта, на який в разі потреби, може перенести властивості полігона. Визначення центрів та центроїдів зазначені в розділі 5.5.1. У растрових ГІС представлення площинних чарунок растра їх центрами розширює можливості геопросторового аналізу безперервних поверхонь.

Вузли

Важливим типом точкових об'єктів високого рівня є вузли, оскільки вони забезпечують взаємозв'язок об'єктів. Вузли несуть інформацію не тільки про місце розташування, але й про топологічну структуру лінійного або полігонального покриття. Використовуючи вузли, можна дізнатися, перетинаються чи ні два транспортних маршрути. Вузли відмежовують сегменти лінійної структури. За вузлами ведеться розрахунок довжин відрізків річкової й дорожньої мережі і т.п. Вузли – це атрибут топологічної структури виключно векторних систем. У загальному випадку вузли кодуються в процесі цифрування і повинні легко ідентифікуватися звичайними процедурами пошуку в ГІС, що підтримують топологічну структуру даних. Трудності виникають тільки тоді, коли вузол помилково закодований як звичайна крапка. Це ще одна ілюстрація важливості ретельної організації даних. У растрових ГІС таке поняття не існує.

Сукупності точкових об'єктів

Сукупність точкових об'єктів часто має для аналізу істотне значення. Одна з характеристик сукупності точкових об'єктів є щільність точок. Більшу або меншу кількість об'єктів на певній території відрізняють ці території за щільністю об'єктів. Наприклад, сукупності дерев можуть представляти густий або рідкий ліс, а сукупності видів дерев – деякі екосистеми. Важливо при цьому визначити причину відмінностей: порушення рівноваги, або властивості ґрунтів або особливості рельєфу. Іншими характеристиками сукупності точкових об'єктів є рівномірність або випадковість, які представляють закономірності розподілу.



Рис. 11.2.4 – Сукупність точок, що представляють густий ліс, рідкий ліс [22, с. 224].

Лінійні об'єкти високого рівня

До лінійних об'єктів високого рівня можна зарахувати такі лінійні утворення, як межі, маршрути і мережі.

Межі

Межа (boundary) виникає в топологічних структурах при визначенні відносин між атрибутами ліній і полігонів, які до них прилягають. Ці лінії найчастіше називаються межами або кордонами (залежно від статусу територій, які вони розділяють). Важливість меж обумовлена функцією розподілу властивостей територій, які до них прилягають. При перетині кордонів відбувається значна зміна одного або багатьох атрибутів місцевості. Розглянемо, наприклад, межі між Харківською і Полтавською областями. Лінія, яка має статус кордону, повинна давати можливість віднести всі адміністративні райони, розташовані на схід від неї, до Харківської області, а ті, що західніше, – до Полтавської області.

Маршрути

Маршрути (routes) – це особливі структури, які, по-перше, утворені суміжними послідовними лінійними сегментами разом з вузлами і, по-друге, мають загальну систему вимірювань вздовж кожного лінійного сегмента. Положення події на маршруті фіксується в обраній лінійній системі координат. Маршрути можуть бути утворені на осях вулиць, шляхах руху, річках, трубопроводах. На одній сукупності осей вулиць можуть бути побудовані різні об'єкти високого рівня – різні маршрути.

Мережі

Мережа (network) визначається як система взаємопов'язаних елементів – ліній і точок, уздовж яких можливий рух від одного вузла до іншого. Мережі дають можливість моделювати різні типи потоків: рух автомобілів і потягів, транспортування вантажів, перекачування нафти, газу, води і навіть міграції тварин міграційними коридорами. У всіх цих випадках потрібно виконувати аналітичні операції з об'єктами мереж. Тому лінії повинні мати спеціальні атрибути, необхідні для аналізу потоків (наприклад, обмеження швидкості).

Мережі або їх частини бувають трьох головних видів (рис. 11.2.5):

- а) однолінійні (наприклад, автомагістраль);
- б) деревоподібні (наприклад, річкова мережа);
- в) контури (наприклад, комбінація осей вулиць).

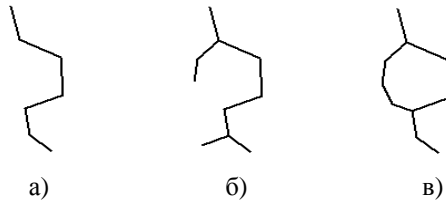


Рис. 11.2.5 – Види мереж

Мережі можуть мати або не мати фіксованого напрямку, тобто бути спрямованими або неспрямованими. Наприклад, потоки за нормальних обставин мають тільки один напрямок течії – вниз по схилу. Аналогічно на вулицях з одностороннім рухом дозволено пересування тільки в одному з напрямків. У разі, якщо один відрізок мережі перетинається з іншим, може відбуватися зміна напрямку руху або заборона повороту в одному або декількох напрямках. Наприклад, на перетині вулиць із двостороннім і одностороннім рухом не можна звертати з першої на другу проти зустрічного потоку. У неспрямованих мережах потік може рухатися в будь-якому напрямку.

Для моделювання напрямку потоку перехід з відрізка на відрізок, опір руху або його заборона, дозволена швидкість і т. п. – всі ці параметри потрібно закодувати у таблиці властивостей мережі та вести відповідні атрибути. Це розширює діапазон аналітичних можливостей ГІС.

Сукупності маршрутів, мереж

Сукупності маршрутів, мереж можуть також утворювати лінійні об'єкти високого рівня. Наприклад, можна виділити ділянки з високою щільністю дорожньої мережі або території з невеликою кількістю огорож. Можна порівнювати сукупності за просторовою протяжністю лінійних об'єктів або за такими характеристиками розподілу об'єктів, як регулярність або випадковість.

Слід зазначити, що растрові моделі менш придатні для роботи з мережами, оскільки в них немає засобів чіткого визначення мереж.

Полігональні об'єкти високого рівня

Регіони

Полігональними об'єктами високого рівня є регіони. *Регіони* визначаються як сукупність одного або більше суміжних або

несуміжних полігонів земної поверхні, які мають певну єдність географічних характеристик. Регіон в покритті – це структура даних, полігональний об'єкт, що складається з безлічі полігонів, які можуть бути окремими, згрупованими, перекриватися або суміжними. Полігони, складові регіону, зберігаються в класі полігональних об'єктів, тоді як регіони зберігаються в підкласі цього класу об'єктів. Регіон має свої власні атрибути; форма регіону визначається геометричною формою полігонів, що входять до його складу.

Прикладами регіонів можуть бути політичні регіони, які визначаються національними кордонами, етнічні регіони – схожістю походження населення, біогеографічні – схожістю рис організмів. У ГІС виділення цих регіонів може ґрунтуватися на атрибутах, які визначають кожен полігон або набір полігонів. Наприклад, можна визначити регіон, відібравши всі полігони, в яких головним рослинним компонентом є ліс. Це дасть "лісовий" регіон.

Можливість визначення регіонів на основі великої різноманітності характеристик – одна з відмінних рис ГІС. Вона допомагає вирішити класичну проблему географії – класифікації. Тут під виділенням регіонів розуміється угруповання однорідних наборів або комбінацій даних. У деяких випадках регіони можуть створюватися як області, які містять не просто однакові атрибути, а й подібні комбінації різноманітних атрибутів.

Регіони розрізняються не тільки за атрибутами, але і своєю конфігурацією в просторі. Є три основні види регіонів [22, с. 228]:

- суцільні (continuous);
- фрагментарні (fragmented);
- перфоровані (perforated).

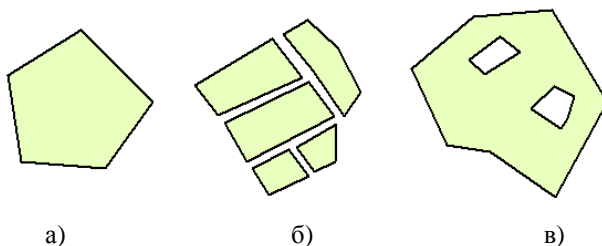


Рис. 11.2.6 – Три основних види регіонів:
а) суцільний, б) фрагментарний; в) перфорований

Суцільний регіон утворює одну суцільну область. Атрибути полігонів, які його створюють, можуть бути однаковими (гомогенний регіон) або різноманітними (гетерогенний регіон).

Фрагментарний регіон, знову ж гомогенний і гетерогенний, складається з двох або більшої кількості полігональних фігур, розділених ділянками, які не належать до цього регіону. Наприклад, лісовий регіон може виглядати як деяка безліч розкиданих по карті полігонів, які мають єдиний набір дерев певного типу. Населений пункт як фрагментарний регіон може бути представлений його кварталами. Для фрагментарних регіонів немає обмежень на відстань між утворюючими їх полігонами за умови зберігання схожості атрибутів.

Перфорований регіон, на відміну від фрагментарного, являє собою суцільну область, з якої виключені деякі внутрішні полігони, так звані дірки або острови. Між перфорованими й фрагментарними регіонами можна встановити зв'язок. Завдяки цьому полігони, розташовані всередині перфорованого регіону, можна об'єднати у свій регіон, але вже фрагментарний за ознакою подібності, а іноді й несхожістю атрибутів.

У векторних і растрових системах, пов'язаних із засобами управління базою даних, ці об'єкти найчастіше визначаються в таблицях атрибутів. Прості растрові системи виконують цю операцію за допомогою класифікації.

11.2.3 Аналіз геометрії об'єктів

Аналіз форми лінійних об'єктів

Форма просторових об'єктів у багатьох випадках відіграє суттєву роль при вирішенні низки технічних, економічних і соціальних задач. У зв'язку з цим ідентифікація об'єктів може містити аналіз геометрії об'єктів.

Для лінійних об'єктів, наприклад, форма берегової лінії свідчить про довжину пляжів, форма дороги – про допустиму швидкість руху та його безпеку, форма річки пов'язана з місцем і обсягом перенесеного осаду. У багатьох випадках необхідно кількісно оцінити форму лінійних об'єктів.

Основною характеристикою форми лінійних об'єктів є *звивистість*. Існує багато мір звивистості, які можуть використовуватися для характеристики ліній.

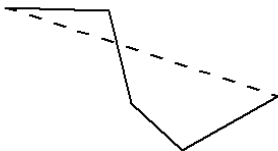


Рис. 11.2.7 – Звивистий лінійний об'єкт

Найбільш проста міра – *коефіцієнт звивистості* K . Це співвідношення сумарної довжини відрізків d , які представляють лінію, до відстані D між її крайніми точками:

$$K = \sum_{i=1}^n d_i / D \quad . \quad (11.2.1)$$

Чим ближче це значення до одиниці, тим менше звивається лінія. Для прямої лінії це відношення дорівнює одиниці.

У деяких випадках в якості міри звивистості використовують *радіус R вигину* лінійного об'єкта. Наприклад, різкі вигини дороги з більшою вірогідністю можуть стати причиною аварій; гострий вигин річки викликає активну ерозію зовнішнього берега і інтенсивні відкладення на внутрішньому березі. Щоб визначити радіус вигину, інтерактивно вписують коло в кожен вигин і вимірюють його радіус.

Аналіз форми полігональних об'єктів

Аналіз форми полігональних об'єктів використовують для різних цілей. Наприклад, форма полігонів земельних ділянок впливає на їх використання та вартість.

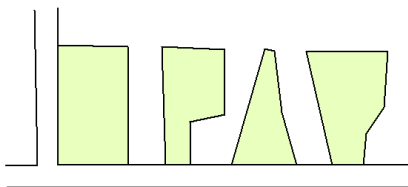


Рис. 11.2.8 – Форми земельних ділянок

До основних мір форми полігонів належать:

- просторова цілісність;
- співвідношення великої та малої осей;
- співвідношення периметра до площі;
- розвиненість кордонів.

Просторова цілісність

Просторова цілісність полігональних утворень визначається на основі ідеї фрагментарних і перфорованих регіонів. Найбільш розповсюдженим засобом просторової цілісності є функція Ейлера, яка дає чисельне вираження ступеня фрагментарності та перфорування:

$$E = H - (F - 1), \quad (11.2.2)$$

де E – число Ейлера, H – сумарна кількість отворів у всіх полігонах регіону, F – кількість полігонів у фрагментарному регіоні.

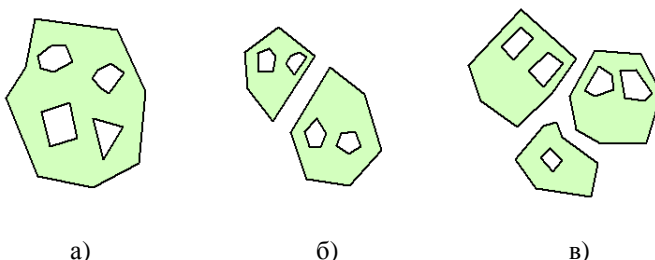


Рис. 11.2.8 – Приклади полігональних утворень для розрахунку числа Ейлера [22, с. 239]

На рис. 11.2.8 представлені три різні конфігурації полігонів. Пов'язані з ними числа Ейлера будуть рівні в разі:

а) одного перфорованого регіону з чотирма отворами:

$$E = 4 - (1 - 1) = 4;$$

б) фрагментарного регіону, що складається з двох перфорованих регіонів з двома отворами в кожному:

$$E = 4 - (2 - 1) = 3;$$

з) фрагментарного регіону, що складається з двох перфорованих регіонів з двома отворами в кожному і одного перфорованого регіону з одним отвором:

$$E = 5 - (3 - 1) = 3.$$

У другому і третьому випадках число Ейлера одне й те ж, незважаючи на те, що конфігурації різні.

Співвідношення великої і малої осей полігона.

Співвідношення між великою й малою осями полігона дає просту міру форми, яка може використовуватися, наприклад, для виділення довгих і вузьких полігонів, бо вони мають певну функцію використання полігона.

У векторній моделі даних рішення полягає у визначенні відстаней між точками кожної пари протилежних вершин. При визначенні великої і малої осей набагато легше мати справу з опуклими полігонами. Якщо полігон увігнутий чи має межі складної конфігурації, то обчислення стають складнішими, а результати – менш корисними.

Співвідношення периметра до площі.

Вирішення багатьох завдань, особливо пов'язаних з природними ресурсами, потребує використання співвідношення периметра до площі полігона. Наприклад, чим менше цей показник для ділянки лісу, тим більше можливість виявлення в ній тварин, які зазвичай займають внутрішні області лісу. І навпаки – чим вищий цей показник для озера, тим більша довжина пляжів, яку можна запропонувати потенційним покупцям ділянок.

Співвідношення периметра до площі оцінює ступінь подібності обраного полігона до кола. Коло має найменший периметр при заданій площі. Коло є найбільш опуклою фігурою, тому його використовують для порівнянь у разі необхідності оцінити ступінь опуклості або угнутості полігона. Опуклим називається такий полігон, який цілком лежить по одну сторону будь-якої прямої, яка містить одну зі сторін цього полігона.

Загальна формула опуклості для векторної моделі даних така:

$$Ci = kP / S, \quad (11.2.3)$$

де Ci – індекс опуклості (1-99), k – деяка константа, P – периметр, S – площа.

Великі значення Ci відповідають більшій схожості з колом. Таким чином, при $Ci = 100$ маємо ідеальне коло.

Для растрових моделей формула визначення опуклості має вигляд:

$$Ci = P / \sqrt{N}, \quad (11.2.4)$$

де Ci – індекс опуклості (1-99), P – периметр, N – площа в растровому форматі.

Розвиненість меж

Оцінка розвиненості меж використовується в різних застосуваннях.

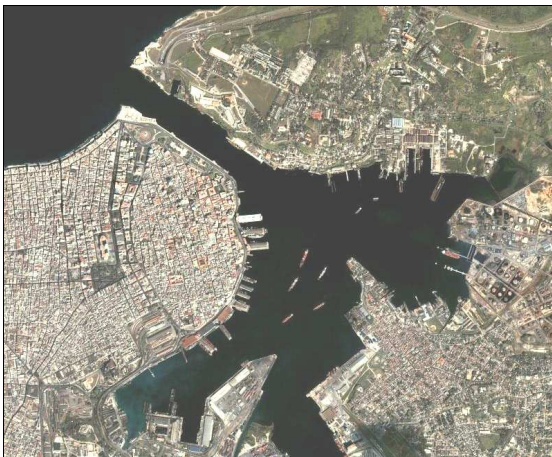


Рис. 11.2.9 – Гавана, Куба

Міра полігона, яка характеризує конфігурацію його меж, називається *розвиненістю меж*. Для її вимірювання зазвичай використовують крайові фільтри, що представляють собою матриці коефіцієнтів, які застосовують до чарунок растра, які потрапляють в ковшне "вікно". Після виконання операції з однією групою чарунок матриця зміщується на одну чарунку вбік й операція повторюється.

У дистанційному зондуванні фільтри використовуються для двох основних завдань – підкреслення деталей і згладжування. Фільтри першого типу підкреслюють лінії і краї області; другого – навпаки, послаблюють різкі переходи між значеннями сусідніх чарунок растра.

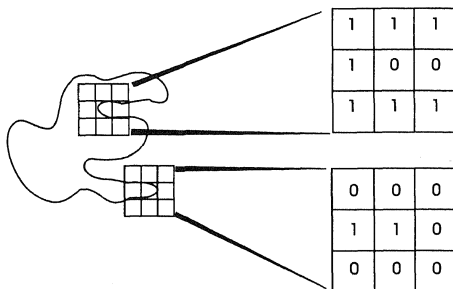


Рис. 11.2.10 – Індекс розвиненості кордонів [22, с. 242]

Для оцінки розвиненості кордонів фільтри розглядаються як засіб обчислення індексу розвиненості меж, який дорівнює сумі значень матриці. Чарунки матриці, які потрапляють в межі полігона, отримують значення "1", інші – "0". На рис. 3.1.2.10 індекс розвиненості кордонів північної ділянки дорівнює 7, а південної ділянки – 2.

11.2.4 Типи атрибутивних даних

Для ГІС-аналізу важливо знати категорію атрибута, бо від цього залежить вибір функції аналізу.

Атрибути можуть бути категоровані за шкалами вимірювання даних. Шкали вимірювання даних поділяються на шкали відносин, інтервальні, порядкові й номінальні. Загальноприйнятий поділ шкал (і, відповідно, даних в цих шкалах) на якісні та кількісні. До кількісних шкала належать інтервальна (інтервалів) і раціональна (відносин) шкали. До якісних шкал входять номінальна (найменувань) і ординальна (порядкова, рангова) шкали.

Дані відносин – це дані, які представляють кількості в умовах рівних інтервалів і точки абсолютного нуля від початку. Представляються числами, які можуть бути перетворені або об'єднані з будь-якою математичною функцією, щоб генерувати значущі результати. Приклади: вимірювання характеристик типу, віку, частоти, фізичних відстаней і грошових значень.

Інтервальні дані – це дані, які представляють кількості в умовах рівних інтервалів або ступенів різниці, але чия нульова точка (або точка початку) довільно встановлена. Інтервальні значення даних та співвідношення значень даних дозволяють робити обчислення. Використовуються для визначення кількості, відмінностей, але не пропорцій і характеристик щодо положення в просторі, часі або розміру. Порівняння можуть робитися з точнішою оцінкою відмінностей, ніж у випадку порядкових даних. Приклади: широти, довготи, напрями, години доби.

Порядкові дані – це дані, які визначають кількість відмінностей порядком, а не величиною. Розмір інтервалів не визначений. Використовуються там, де кількісні відмінності очевидні, коли величини представлені впорядковано. Приклади: відмінність типу "більше" або "менше", відмінність між "бідними", "помірними" і "хорошими" сільськогосподарськими землями (не дають ніяких вказівок, наскільки точно кращий / гірший кожен тип, ніж інший).

Номінальні дані – це дані, які забезпечують ім'я або ідентифікатор, представляють якості, а не кількості. Об'єкти розрізняються за іменами. Система дозволяє робити висновок про те, як називається об'єкт, але не дозволяє робити прямого порівняння одного об'єкта й іншого, за винятком визначення тотожності. Приклади: телефонні номери, поштові коди або типи дерев, типи покриття землі (1 = рілля, 2 = ліс, 3 = болото, 4 = забудована територія), це просто зручна форма найменування (номінального значення).

Крім цього, атрибути можуть бути первинними (вимірними, введеними) й вторинними, розрахунковими, отриманими шляхом розрахунку із значень інших атрибутів. Окремий випадок таких розрахункових даних – це атрибути (зазвичайно просторові), які розраховуються виходячи з позиційних параметрів об'єктів (наприклад, периметр).

Деяку властивість, безперервно розподілену в просторі, наприклад, на земній поверхні, зручно в математичному сенсі розглядати в якості поля (взагалі кажучи, різного вигляду – скалярного, векторного, тензорного, тривимірного або двовимірного, визначеного тільки на поверхні землі або з нею не пов'язаного) .

Програмні продукти містять засоби для ідентифікації атрибутів окремих географічних об'єктів. Наприклад, для отримання інформації про відображені об'єкти застосунок ArcMap містить інструмент Identify Tool (Ідентифікувати), який дозволяє бачити атрибути об'єкта за місцем розташування.

11.3 ВІЗУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ

11.3.1 Задачі візуального аналізу

Існують багато можливостей людини щодо візуального аналізу даних. За словниковим визначенням термін "візуальний" означає "видимий неозброєним чи озброєним оком, зоровий". Значимість візуалізації впливає з фізіологічних особливостей людини, які полягають в тому, що зір забезпечує людині отримання близько 80 – 90 % інформації. Краще один раз побачити, ніж сто разів почути – говорить прислів'я.

Візуалізація інформації має фундаментальне значення для отримання знань на підставі карт. Користувач безпосередньо працює з

даними, представленими у вигляді візуальних образів. Візуальний аналіз даних покликаний залучити людину до процесу пошуку знань в даних. Працюючи з візуальним представленням, людина може заглибитися в дані, зрозуміти їх суть, зробити висновки і безпосередньо взаємодіяти з даними. Основна ідея полягає в тому, щоб представити великі обсяги даних в такій формі, де людина могла б побачити те, що важко виділити алгоритмічно.

Візуалізація даних надає можливість виконання просторового аналізу шляхом візуального спостереження – візуального аналізу карти. Здавна для відображення географічних об'єктів і їх місцеположення використовуються карти. Карти – це моделі реального світу, які дозволяють вивчати оригінал – оточуючий нас світ. Інформація, представлена на карті, містить знання про географічні об'єкти, географічних місця. Інформація, представлена на карті, може містити в собі приховані знання, закономірності й тому, при відповідному аналізі здатна надати вплив при прийнятті рішень в різних областях людської діяльності. Карти використовують для того, щоб пізнавати окремі місця і побачити, як виглядають об'єкти і де вони розташовані. На карті наочніше проявляється характер просторового розподілу об'єктів, що дозволяє виявити зв'язки між ними і краще зрозуміти досліджувану область. Візуальне вивчення карти надає можливість оцінки закономірностей у розподілі об'єктів, причин просторових взаємозв'язків. Аналіз місця розташування допомагає визначити області, які відповідають певним критеріям.

Сучасні інформаційні технології поєднують величезні обчислювальні ресурси сучасних комп'ютерів з творчим та гнучким мисленням людини. Геоінформаційні системи розвивають методи візуалізації інформації для передачі просторових взаємозв'язків географічних об'єктів. ГІС також забезпечує управління візуалізацією інформації. На екран виводяться тільки ті об'єкти або безлічі об'єктів, які становлять інтерес у цей момент. Здійснюється перехід від комплексних карт до серії взаємопов'язаних шарів даних. При цьому поліпшується структурованість інформації, і отже, підвищується ефективність її обробки і аналізу. У ГІС карта стає динамічним об'єктом.

За допомогою нових технологій на картах користувачі здатні візуально оцінювати великі об'єкти й маленькі, далеко вони знаходяться або близько. Користувач в реальному часі може рухатися навколо об'єктів або кластерів об'єктів і розглядати їх з усіх боків. Візуальний аналіз даних особливо корисний, коли про самі дані мало що відомо і цілі дослідження до кінця не зрозумілі. За рахунок того,

що користувач безпосередньо працює з даними, представленими у вигляді візуальних образів, які він може розглядати з різних боків і під будь-якими кутами зору, він може отримати додаткову інформацію, яка допоможе йому чіткіше сформулювати цілі дослідження.

Просторовий аналіз пов'язаний з пошуком структури досліджуваної області на карті. Підключення даних, в першу чергу, вказує на об'єкти, де вони знаходяться, але не може пояснити, чому вони там знаходяться.

При візуальному аналізі карти вирішуються такі задачі:

- розпізнавання образів;
- ідентифікації об'єктів;
- оцінки відносного розташування об'єктів;
- оцінки розподілу об'єктів;
- визначення просторових відносин об'єктів;
- виявлення тенденцій;
- оцінки місцевості в режимі реального часу, в різних масштабах, в різних розмірностях простору;
- швидшої обробки інформації.

11.3.2 2D візуалізація даних

11.3.2.1 Розуміння 2D візуалізації даних

Географічна карта являє собою систему спеціальним чином позиційованих значків, за допомогою яких передається інформація. Вона була однією з перших в історії людства спеціальним чином організованих систем даних, яка використовувалася людьми в практичній діяльності [23, с. 121].

Традиційні карти – це плоскі (двовимірні – 2D) моделі реального світу. Для них виконується 2D візуалізація даних.

Візуалізація передається за допомогою символів як окремих об'єктів, так і груп об'єктів. Символи формуються маркерами, лініями, заливанням, кольором й текстом. У ГІС можливості картографічної візуалізації визначаються потужним арсеналом засобів виведення графіки, який підтримує штрихування, заливку, заповнення текстурою, кольором, пріоритети, прозорість, видимість, маскування тощо. Колір є одним з фундаментальних властивостей символів і елементів карти. Додаток ArcMap дозволяє використовувати як окремі кольори з палітри кольорів для індивідуальних об'єктів, так і кольорні шаблони

(Graduated colors). Серед кольірних шаблонів особливе значення має градуйований колір (Color Ramp), яким створюється візуальний ефект, що легко розуміється.

На підставі атрибутивних даних змістову частину об'єктів зображують графічно, використовуючи різні символи і / або колір. При цьому атрибути повинні бути кодовані способом, який може бути використаний для аналізу даних. У разі двовимірних моделей візуалізація реалізується перетворенням цифрових даних в зображення на основі певних правил і алгоритмів.

Робота з картою припускає наявність знань про умовні позначення на карті. Умовні позначення – своєрідна мова карт. Знаючи їх можна навчитися читати карти, представляти і оцінювати за ними характер місцевості та ландшафти. Значення кожного символу, використаного в карті, описується у легенді карти. Легенда карти пов'язує атрибути з географічними об'єктами. Легенда карти – це ключ, за допомогою якого ідентифікують об'єкти, що представлені на карті. Окрім того, багато символів у топографічних картах визначаються за умовою (умовні символи, знаки) і можуть бути інтерпретовані без легенди.

З вищевикладеного випливає, що читання карти вимагає розуміння 2D символів. Читання карти означає інтерпретацію символів. За допомогою інтерпретації символів плоскої карти користувач повинен спочатку штучно побудувати концептуальну модель місцевості в його свідомості, а потім виконувати візуальний аналіз карти.

Відчуття структури (розумова модель) реального світу залежить від освіти, підготовленості, відповідальності, мети організації, де людина працює, й від того, що деякі частини земного простору мають велику значимість у порівнянні з іншими частинами. Для підготовленого користувача візуальний аналіз карти можна представити як єдиний процес генерації концептуальної моделі місцевості та розв'язання задач аналізу. Побудова концептуальної моделі місцевості по карті може виявитися складним або нерозв'язуваним завданням для користувача, не знайомого з легендою карти, який не володіє просторовим мисленням. Враховуючи картографічно складене відображення деяких місцевостей, це може бути важким завданням навіть для найбільш підготовленого розуму.

11.3.2.2 Програмні засоби 2D символізації

Програмні продукти ГІС мають розвинені засоби 2D символізації точкових, лінійних і полігональних моделей географічних об'єктів на карті.

Наприклад, у ArcGIS Desktop головним засобом для 2D картографування та візуалізації є застосунок ArcMap. Символи графічно описують, класифікують або ранжують географічні об'єкти, мітки та анотації на карті, щоб знайти і показати якісні й кількісні співвідношення. Залежно від типу геометрії, яку вони відображають, використовують один з чотирьох типів символів – маркер, лінія, заливка або текст. Вони, як правило, застосовуються до груп об'єктів шару. У ArcMap [24] використовуються наступні засоби символізації (Symbology):

- відображення об'єктів єдиним символом (Features);
- відображення об'єктів для показу категорій (Categories);
- відображення кількісних даних (Quantities);
- відображення об'єктів методом діаграм (Charts);
- відображення об'єктів на підставі декількох атрибутів (Multiple Attributes).

ArcMap бібліотека включає великі набори символів.

Відображення об'єктів єдиним символом

Найпростіший спосіб показати на карті розміщення об'єктів – відобразити їх одним символом (Single symbol). Можна відображати таким способом дані будь-якого типу. У цьому випадку можна отримати точну відповідь на питання, де розташовані об'єкти й де вони відсутні. Відображення на карті розташування об'єктів прояснює приховані факти і тенденції й допомагає приймати рішення.

Відображення об'єктів для показу категорій

Розбиття даних на групи і проведення аналізу всередині груп є важливим прийомом аналізу, що постійно використовується в практичній роботі. Категорія описує набір об'єктів з однаковим значенням атрибута. Засоби відображення ГІС дозволяють розділити об'єкти на групи, використовуючи для кожної категорії різні умовні позначення.

Відображення об'єктів за категоріями допомагає підкреслити функціональне призначення місця розташування об'єкта. Наприклад, якщо є дані про земельні ділянки з атрибутом, що описує тип

землекористування (житлові, комерційні або громадські землі), можна використовувати різні знаки для відображення кожного типу землекористування. Відображення об'єктів цим способом дозволяє бачити, де розташовані об'єкти, і до якої категорії вони належать. Це зручно, якщо ви маєте намір застосувати його до певної категорії об'єктів. Наприклад, проектувальник може використовувати карту землекористування, щоб позначити ділянки для перепланування. У загальному випадку для відображення категорій ArcMap дозволяє призначати символ для кожного унікального значення (Unique values) як автоматично – на підставі колірної схеми, так і вручну – шляхом вибору символів для кожного значення атрибута.

Для відображення об'єктів за категоріями вибір кількості категорій буде визначати детальність подання явища на карті. Більшість людей може легко аналізувати до семи категорій в одному шарі. Досвідчені користувачі можуть досить легко інтерпретувати і складніший карти. Навпаки, менш підготовлені користувачі краще зможуть сприйняти карту з меншою кількістю категорій. Об'єкт може належати більш ніж до однієї категорії. У такому випадку комплексне використання одразу декількох категорій може виявити нові закономірності.

Відображення кількісних даних

Кількісні дані дозволяють відображати будь-яку кількісну характеристику об'єкта.

При відображенні на карті кількісних даних можна або присвоїти кожному значенню його власний знак, або згрупувати значення в класи і використовувати окремий знак для кожного класу. Якщо відображається лише кілька значень (менше 10), можна присвоїти кожному значенню свій символ. У багатьох випадках значення даних бувають настільки численні, що відображати їх окремо неможливо, і тому доведеться об'єднати їх у класи, або класифікувати. ArcMap дозволяє автоматизовано класифікувати дані, використовуючи стандартні схеми класифікації.

Подання кількості кольором

Кількісна характеристика може бути представлена числом, часткою, наприклад, відсотками, або рангом, наприклад, "високий", "середній", "низький". Кількісні дані на карті краще відображати за допомогою градуйованих кольорів (Graduated colors). Наприклад, можна показати велику кількість опадів темнішими відтінками синього кольору.

Для відображення кількості класифікують дані, щоб згрупувати

об'єкти з близькими значеннями в окремі класи, кожен з яких буде відображатися одним символом. У багатьох випадках слід нормувати дані перед їх відображенням. При нормуванні даних їх необхідно ділити на значення іншого атрибута, отримуючи в результаті відношення. Нерідко частки дають чіткіше відображення, ніж необроблені дані. Наприклад, поділ усієї кількості населення на площу дає кількість населення на одиницю площі, або його щільність. Ділення обсягів продажу магазину на загальний обсяг дозволяє дізнатися відсоток участі магазину в загальному обсязі продажу. Крім того, нормування даних зменшує розкид у значеннях, виходячи з розміру області або кількості об'єктів у кожній області. Таким чином, бажано використовувати нормування даних при відображенні кількісних даних по областях.

Подання кількості градуїованим або пропорційним символом

Можна уявляти кількість на карті, змінюючи розмір символу. Наприклад, місто з високою чисельністю населення може бути зображено на карті окружністю більшого діаметра. Подання кількості можливо градуїованим або пропорційним символом.

Для відображення просторових об'єктів градуїованим символом кількісні значення групуються в класи. В межах класу всі об'єкти відображаються однаковим символом. Не можна розпізнати значення окремого об'єкта, можна тільки визначити, що його значення лежить в межах певного інтервалу.

Пропорційний символ представляє дані точніше. Розмір пропорційного символу залежить від певного значення. Проблеми з пропорційними символами можуть виникати в тих випадках, коли є занадто багато значень – відмінності між символами можуть не сприйматися.

Подання кількості щільністю точок

Альтернативний метод представлення кількості – точковий спосіб зображення (Dot density). Точковий спосіб використовують для представлення кількісного атрибута на площі. Кожна точка – це певне число просторових об'єктів, наприклад, 100 осіб або 10 дорожньо-транспортних пригод в межах якої-небудь області. Точковий спосіб відображає щільність графічно замість того, щоб показувати значення щільності. Точки довільно розташовуються всередині кожної області та не відповідають реальним місцезоположенням об'єктів. Чим більше точок, тим вища щільність об'єктів у цій області. Значення і розмір точки підбираються так, щоб вони не були розташовані дуже близько і

не закривали собою зображення, а так само і не надто далеко, що ускладнюють сприйняття щільності.

Відображення об'єктів методом діаграм

Діаграми представляють величезний обсяг кількісної інформації в легкій для сприйняття формі. Відображення даних методом діаграм застосовується в тому випадку, якщо шар містить ряд пов'язаних кількісних атрибутів, які хочеться порівняти. Кругові діаграми використовуються, якщо хочете показати частку кожної категорії в загальній кількості. Стовпчасті діаграми краще відображають співвідношення категорій між собою. Стекові діаграми дозволяють оцінити обидва показники. Наприклад, при картографуванні складу населення по регіонах можна використовувати кругову діаграму, щоб показати процентне співвідношення чисельності етнічних груп у кожному регіоні.

Відображення об'єктів на підставі декількох атрибутів

Географічні дані зазвичай містять набори різних атрибутів, що представляють просторові об'єкти. Зазвичай для відображення даних використовують один атрибут. Коли вибираєте спосіб зображення для даних на підставі більш ніж одного атрибута, ви створюєте комплексне зображення. Такий спосіб відображення даних дозволяє передати більше інформації, однак він також робить карту важчою для інтерпретації.

Відображення поверхонь TIN-моделями

TIN-моделі використовуються для представлення явищ, що мають суцільне поширення по території, таких як рельєф земної поверхні або градієнт температури. Зазвичай TIN відображають за допомогою кольорово-тіньового рельєфу, щоб візуалізувати висоти. Тіньовий рельєф імітує сонячне освітлення на поверхні землі. Додавання кольору дозволяє легко розрізнати хребти, долини, схили пагорбів і їх відносну висоту. Такий спосіб візуалізації допомагає краще зрозуміти особливості розташування об'єктів. Інструменти візуалізації дозволяють відобразити будь-яку з трьох характеристик поверхні – ухил, експозицію (аспект) і висоту – на карті й навіть отримати імітацію рельєфу, побудовану з використанням тіней.

Набір інструментів для управління відображенням шарів

ArcMap надає також набір інших інструментів, які дозволяють керувати відображенням шарів:

- налаштувати прозорість шарів;
- встановлювати базовий масштаб фрейму даних, щоб бачити, як символи будуть відображатися в реальному розмірі на екрані або на папері;
- використовувати рівень відображення символів, щоб визначати порядок відображення символів шару,
- використовувати різнорівневі маски для приховування частини шарів.

11.3.3 3D Візуалізація даних

11.3.3.1 Розуміння 3D візуалізації даних

У порівнянні з 2D візуалізацією істотна перевага просторової тривимірної 3D візуалізації даних полягає в тому, *як ми бачимо інформацію*.

Ми живемо в тривимірному світі. *Тривимірна візуалізація імітує просторову реальність. 3D візуалізація дозволяє глядачеві природно сприймати тривимірну модель земного простору, часто без спеціальної підготовки або знання легенди.*

Вона забезпечує те інтуїтивне розуміння, якого не можна досягнути при розгляді звичайного двовимірного зображення. 3D візуалізація дозволяє фізично уявити частину земного простору й оцінити його. 3D візуалізація дозволяє також швидше розпізнавати образи і розуміти зміни в ординаті. Нарешті, 3D-моделі можна використовувати як зручний інтерфейс для запиту відображуваного середовища.

Створення 3D реалістичних сцен вимагає значного збільшення ресурсів. Разом з тим практика останніх років свідчить про те, що попит на 3D моделі стрімко зростає. Спостерігається стійкий перехід від традиційних 2D ГІС до 3D ГІС. Зі збільшенням обчислювальної потужності комп'ютерних систем істотна перевага 3D візуалізації стимулює розробку складних інструментів ГІС, за допомогою яких можна створювати детальні 3D моделі для комплексу об'єктів реального світу. При цьому вимоги розвиваються від 3D візуалізації до 3D аналізу з підтримкою топології.

3D моделі земного простору стають все більш значущими. Їх застосовують наймні у багатьох сферах людської діяльності. Це, перш за все, міське планування, кадастр, екологічний моніторинг,

телекомунікації, сфера громадських аварійно-рятувальних робіт, ландшафтне планування, транспорт, моніторинг ринку нерухомості, гідрографічна діяльність, управління, військове застосунок та ін.

Найбільш поширений приклад – тривимірні моделі міст. На сьогоднішній день створені реалістичні 3D моделі багатьох міст світу. Як правило, ці моделі зображають міста або сцени з довкілля у трьох вимірах з різним ступенем уваги до деталей і художнього рендерингу. Детальні 3D моделі вражають. Технології, існують сьогодні, дозволяють створювати візуально приголомшливі та деталізовані моделі міського середовища таким чином, щоб полегшити взаємодію й розуміння того, чого ще не має в багатьох моделях.

Потреби в 3D моделях міст зростають і розвиваються швидкими темпами в різних сферах використання. Міські проєктувальники, архітектори, міські дизайнери й фахівці з планування землекористування, фахівці транспорту все частіше використовують тривимірні інструменти візуалізації. Громадяни й посадові особи можуть візуалізувати вплив проєктів міського дизайну та пропонуване використання землі й зонування зміни або уявити собі результати інтелектуальних ініціатив зростання. 3D моделі міст використовують у сфері електронного уряду (E-Government) для сталого управління міським господарством [25].

Приклади застосування 3D-моделей

1) Актуальність впровадження 3D моделі в практику містобудівної діяльності в Санкт-Петербурзі пов'язана з низкою положень Правил землекористування та забудови Санкт-Петербурга. Для їхньої реалізації необхідне проведення оцінки видимості запланованих до будівництва (реконструкції) будівель (споруд) на тлі охоронюваних панорам (макрорівень) і на тлі навколишньої забудови (мікрорівень), здійсненої згідно з методикою, виконаною відповідно до вимог законодавства у сфері охорони об'єктів культурної спадщини та затвердженою органом містобудування Санкт-Петербурга [26].

2) Новий продукт NAVTEQ для навігаційних GPS і LBS систем дозволяє використовувати тривимірну комп'ютерну анімацію для навігації в режимі реального часу. Він дозволяє з високою просторовою роздільністю відображати тривимірні зображення міст в залежно від ситуації, що допомагає користувачеві швидше орієнтуватися на місцевості. Побудована на базі високоточних технологій, навігація стає зрозумілішою і зручнішою для користувача [27].

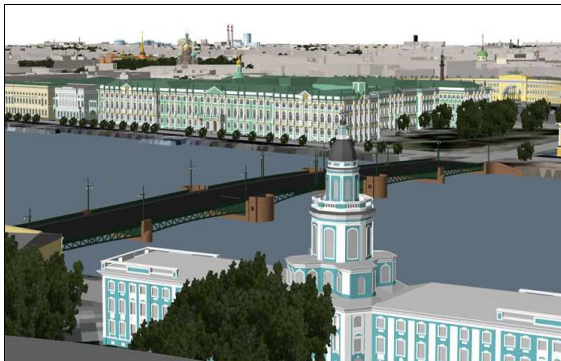


Рис. 11.3.1 – Тривимірний модель міського простору Санкт-Петербурга [26]

3) Тривимірні моделі використовуються в адміністративно-господарському управлінні для створення, збереження і спільного використання інформації про структури господарських об'єктів і їх активів [28], [29].

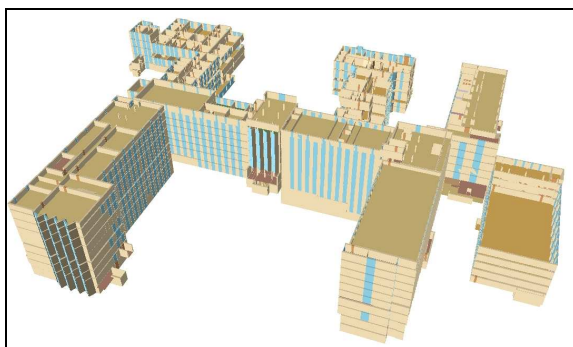


Рис. 3.1.3.2 – Тривимірний модель Харківської академії міського господарства [29]

11.3.3.2 Типи 3D моделей

Сучасні ГІС додатки дозволяють створювати геометричні, реалістичні й віртуальні 3D моделі.

Геометричні 3D моделі

Геометрична 3D модель є найбільш простою моделлю. Вона утворюється тривимірною поверхнею, натягнутими на неї растровими

або векторними даними, витягнутими по висоті векторними об'єктами для додання їм тривимірних властивостей. Властивості 3D сцен можна змінювати, використовуючи освітлення, тіні чи прозорість, встановлюючи розтягнення рельєфу по вертикалі.

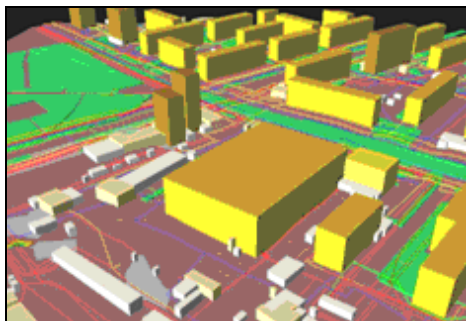


Рис. 11.3.3 – Геометрична 3D модель міста [30]

Реалістичні 3D моделі

Сучасні ГІС дозволяють створювати реалістичні 3D сцени, що підвищують відчуття реальності й, тим самим, сприяють якіснішому візуальному аналізу.

Компонентами реалістичних 3D сцен можуть бути модель поверхні рельєфу, аеро- або космічні зображення, топографічна основа, підповерхні, 3D реалістичні моделі будівель, споруд (наприклад, мости), архітектурних елементів (наприклад, статуї), вуличної фурнітури, рослинності та ін.



Рис. 11.3.4 – Реалістична 3D модель міста [31]

Щоб зробити найбільш реалістичні 3D сцени, використовують різні засоби – правила перспективи, текстури, тонкі зміни кольору, глибини відображення, розташування джерел світла. Туман або серпанок можуть збільшити відносну відстань у межах сцени. Нарешті, сезонні уявлення за допомогою, наприклад, снігу або зелених дерев можуть штучно підвищити відчуття реальності. Для фотореалістичного моделювання будівель кожен фасад (вертикальну або неvertикальну площину) необхідно пов'язати з реалістичною текстурою, яка представлена кольоровим RGB зображенням. Для текстурування дахів та стін використовуються різні методи. Для текстурування дахів використовуються ортофотознімки, а для текстурування стін – знімки портативної ручної камери.

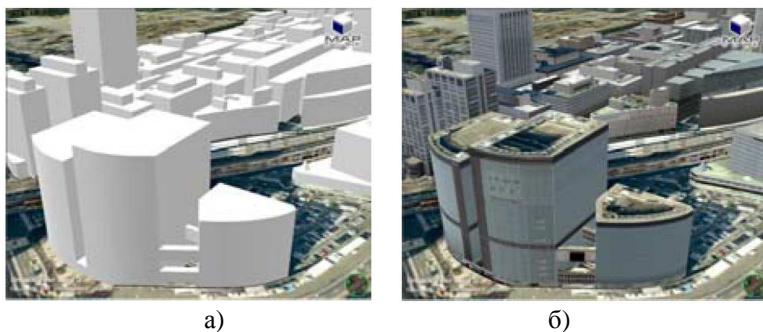


Рис. 11.3.5 – Геометрична модель (а) і текстурована модель (б) [32]

Віртуальні 3D моделі

Віртуальні 3D моделі представляють об'єкти віртуальної реальності уявного тривимірного простору.

Сфера візуального сприйняття перетворюється на основний канал зв'язку з віртуальною реальністю. Віртуальність – це реальність, заснована на силі уяви, ідеалізації, прийомах відходу від впливу матеріальності. Під "віртуалізацією" необхідно розуміти процеси, які створюють якусь "іншу", ідеально-фантазійну (імаจินативну) реальність, що заміщує повсякденне життя й вплив матеріальних чинників на життя суспільства [33].

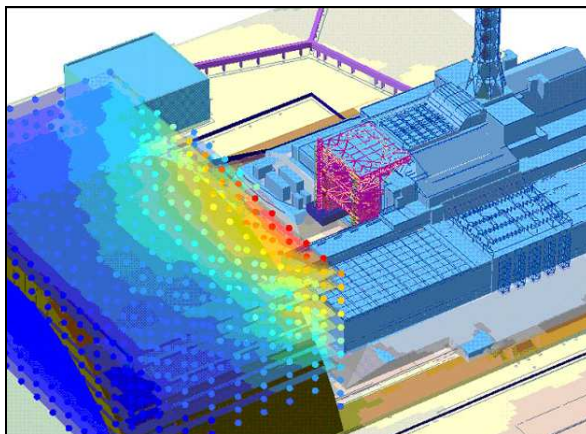


Рис. 11.3.6 – Віртуальна 3D модель ЧАЕС [34]

Як приклад віртуальної 3D моделі на рис. 3.1.3.6 представлений інтерфейс ArcScene з ізометричним зображенням тривимірної моделі ЧАЕС, що відображає потужності експозиційної дози гамма-поля на ділянці будівництва нового безпечного конфайнмента (арки). Найважливішим результатом такого моделювання є як сама 3D візуалізація об'єктів віртуальної реальності, так і можливість проведення розрахунків доз опромінення персоналу, який буде зайнятий у будівництві НБК на кожному окремому робочому місці.

11.3.3.3 Категорії алгоритмів 3D візуалізації

На сьогодні розроблено безліч алгоритмів візуалізації. Програми тривимірного моделювання мають можливості, що дозволяють одержувати зображення об'єктів з високим ступенем реалістичності. При цьому відчуття природності і реалізму багато в чому створюється завдяки правильній освітленості сцени і відтворенню природних явищ, що виникають при поширенні світла. Нині використовуються дві категорії тривимірного представлення об'єктів: заснована на поверхнях і заснована на об'ємах.

Традиційна 3D графіка ґрунтується на уявленні об'єктів *поверхнями*, як правило – полігональними. Для такого подання за останнє десятиліття були розроблені спеціалізовані апаратні засоби рендерингу. Рендеринг (rendering) – це процес відтворення за допомогою комп'ютера тривимірного зображення з урахуванням

кольору, тіней, віддзеркалень, інших світлових ефектів, які дають можливість відтворити глибину об'єкта на двовимірному екрані.

Багато алгоритмів місцевості засновані на фрактальній геометрії, яка підтверджує концепцію самоподібності (self similarity). З самоподібності випливає інваріантність просторової структури і функцій при зміні масштабу, тобто те, що з'являється в одному масштабі, повторюється в іншому. Форма місцевості може бути описана фрактальною розмірністю поверхні.

В якості альтернативи поверхонь досліджували також представлення об'єктів у вигляді *об'ємів*. Наші екрани складаються з двовимірного масиву пікселів, кожен з яких представляє одиницю площі. Об'єм – це тривимірний масив кубічних елементів (вокселів – voxel), які представляють одиниці 3D простору. Подібно до того, як екран може використовуватися для зберігання двовимірних об'єктів, наприклад, ліній і цифрових картин, об'єм потрібен для зберігання тривимірних геометричних об'єктів і тривимірних картин. Головним недоліком об'ємів є їх розмір. Об'єм із середньою роздільністю $256 * 256 * 256$ вимагає зберігання 16 млн. вокселів. Щоб згенерувати зображення тривимірного об'єкту на 2D екрані, потрібно обробити всю цю кількість вокселів. Однак об'єм має й низку важливих переваг: він може представляти об'єкта усередині, а не тільки зовнішній шар. Рендеринг і обробка залежать не від складності або типу об'єкта, а тільки від об'єму розділення [34].

11.3.3.4 Програмні засоби 3D символізації

Програмні продукти ГІС мають розвинені засоби 3D відображення й аналізу. До таких програмних продуктів належать, передусім, розширення ArcGIS 3D Analyst (ESRI Inc.), Imagine VirtualGIS (ERDAS Inc.), GeoMedia Terrain (Intergraph Inc.), PAMAP GIS Topographer (PCIGEO MATICS) та інші. Моделі можуть бути також розроблені з використанням стандартного програмного забезпечення CAD, пакетів, таких як 3D Studio Max, або мов програмування, таких як C++ й VRML (Virtual Reality Modeling Language).

ArcGIS Desktop (ESRI Inc.) має три застосунки, які можуть бути використані для картографування, візуалізації та аналізу: ArcMap, ArcScene, ArcGlobe.

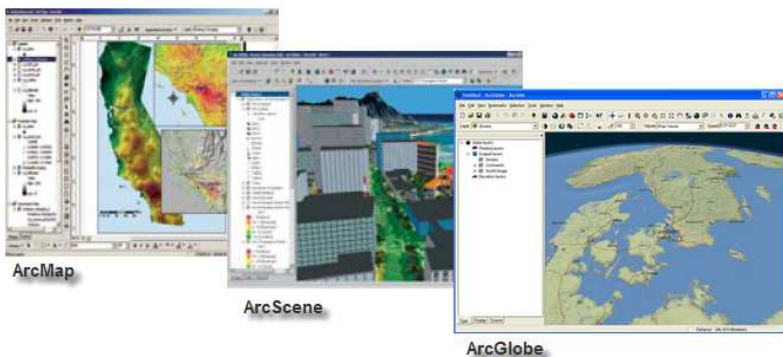


Рис. 11.3.7 – Три головних картографічних застосунка в ArcGIS Desktop [14]

Застосунок ArcMap використовується для роботи з двовимірними картами, для яких виконується 2D візуалізація даних. Головними засобами для тривимірної візуалізації і аналізу є два спеціалізованих додатка ArcGlobe і ArcScene, які розміщені в розширенні ArcGIS 3D Analyst.

Застосунок ArcScene – це 3D-в'ювер, що добре підходить для генерації перспективних сцен, які дозволяють переміщуватися і взаємодіяти з 3D об'єктами і растровими даними. Дані зазвичай відображаються за допомогою плоскої проекції. ArcScene підтримує комплекс 3D символіки ліній і текстур, а також створення поверхонь і відображення TIN. Всі дані завантажуються в пам'ять, що надає можливість порівняно швидкої навігації, панорування і масштабування функціональності. Векторні об'єкти відображаються у вигляді векторів, і растрові дані відображаються залежно від заданого розділення.

Застосунок ArcGlobe є частиною розширення ArcGIS 3D Analyst. Просторово прив'язані дані розташовуються на тривимірному глобусі, імітуючи відображення об'єктів у реальному світі. Всі дані відображаються на різних рівнях деталізації, організовані в мозаїки. Цей застосунок оптимізований для візуалізації географічних даних на сфері в глобальному масштабі. ArcGlobe дозволяє створювати тривимірні види, в яких можна виконувати різні дії з даними геоінформаційних систем, зокрема переглядати, аналізувати і створювати анімації. У ArcGlobe можна завантажувати векторні та растрові дані, космічні знімки й аерофотознімки, прості графічні

елементи і графіку у вигляді 3D символів. Цей застосунок призначений для роботи з дуже великими наборами даних і дозволяє плавну візуалізацію, панорамування, масштабування як растрових, так і векторних даних у реальному часі. Для досягнення максимальної продуктивності використовується кеш даних, який буде організовувати і копіювати дані джерела в мозаїки рівнів деталізації. Векторні об'єкти, як правило, растерізуються і відображаються відповідно до їх асоційованого рівня деталізації, який допомагає в дуже швидкій навігації та відображенні.

Розширення ArcGIS 3D Analyst надає повноцінне рішення для тривимірної візуалізації й аналізу просторових даних. Воно підтримує тривимірні символи, які імітують об'єкти реального світу, що дозволяє розширити можливості візуалізації й моделювання навколишньої дійсності. ГІС-об'єкти можуть бути представлені за допомогою різноманітних 3D символів, таких як будинки, автомобілі або нафтові вишки для точкових об'єктів, текстури трав'янистої, водної та інших поверхонь для полігональних об'єктів, трубопроводи та інші лінійні текстури для протяжних лінійних об'єктів.

Тривимірний аналіз можна проводити, використовуючи не тільки растрові поверхні або дані TIN. Повноцінними учасниками обчислень стали мультитатчі (об'ємні об'єкти). У набір інструментів 3D Analyst додані можливості перетину мультитатчей, побудови зон видимості і лінії горизонту. Ці інструменти значно полегшують планування забудови і створення віртуальних міст. Всі інструменти з аналізу поверхні тепер доступні для використання з набором даних Terrain.

При тривимірному аналізі доцільно використовувати тривимірні перспективні відображення. Для створення тривимірних відображень областей або точок істотне значення мають місце спостереження, Z-фактор, розташування джерела світла.

- *Точка спостереження.* Точка спостереження визначає, які об'єкти є видимими у відображенні, бо вищі об'єкти можуть перекривати об'єкти позаду себе. Можна також визначити координати спостерігача і цілі, розташованої в полі зору, поряд з кутом спостерігача вище поверхні. Оскільки напрямок огляду може змінюватися для кращого відображення закономірностей в широких межах між північчю і півднем, важливо дати користувачеві орієнтування на північ або відобразити добре впізнавані об'єкти.
- *Z-фактор.* При створенні тривимірного відображення можна задавати величину, названу "z-фактором", яка збільшує діапазон

зміни поверхні по висоті й полегшує візуальну оцінку відмінностей. Ця величина множиться на значення кожного об'єкта. Наприклад, при використанні величини Z-фактора 2 район, який має 20 відсотків дитячого населення, отримає нове значення – 40. Мета використання z-фактора полягає в тому, щоб зробити помітними зміни поверхні, але таким чином, щоб не спотворити відмінності між величинами.

- *Джерело світла.* Точка розташування джерела світла в сукупності з Z-фактором визначає, як розподіляються тіні на поверхні, і таким чином, наскільки помітні будуть на ній об'єкти. Положення джерела світла визначається двома параметрами: напрямом і кутом піднесення. Напрямок, з якого виходить світло, визначається в градусах від 0 до 359 (де напрямом 0 є напрямком на північ). Якщо ступінь покриття тінями важливий, можна відрегулювати напрямок підсвічування експериментальним шляхом. Кут фактично визначає висоту джерела світла над горизонтом і також виражається в градусах. Чим нижчий кут, тим довші тіні.
- *Відображення перспективи.* Для відображення безперервних даних перспектива зазвичай реалізується засобами шкали кольорів або тіней. Можна також відображати ізолінії і підписати їх, щоб зробити малюнок чіткішим і забезпечити його точними значеннями. Можна показати окремі точки і області одним кольором або визначити кольори на основі категорій.

11.4 АНАЛІЗ КІЛЬКІСНИХ ДАНИХ МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ

11.4.1 Розуміння кількісних даних

Кількісні дані

Географічні об'єкти реального світу описуються кількісними та якісними даними. Тому в багатьох випадках недостатньо знати географічну структуру тільки сукупності об'єктів однієї категорії. Повнішим буде представлення об'єктів спільно з їх кількісними даними.

Кількісні дані зазвичай характеризують чисельність, кількість, ступені або ранжовані значення, наприклад, дані про кількість опадів і чисельність населення. Вивчення географічної структури кількісних даних є одним з аспектів аналізу місця розташування. Аналіз розташування кількісних даних дозволяє порівнювати об'єкти на основі їх кількісних характеристик, визначаючи місця, що відповідають заданим критеріям або виявляючи просторові зв'язки між кількісними показниками об'єктів, виявляти, де «більше», де «менше» (Mapping the most and least) [3].

Аналіз розташування кількісних даних ефективно виконується за допомогою відображення даних на карті. Географічна структура кількісних даних представляється на карті географічними об'єктами, які відображаються відповідно до їхніх кількісних показників. На карті відображаються кількісні дані, щоб визначити об'єкти, що відповідають певним критеріям, встановити закономірності розподілу кількісних показників. Відображення об'єктів, засноване на їхніх кількісних показниках, додає новий рівень інформації до відомостей про їхнє місцезнаходження. Наприклад, інформація про місця розташування шкіл може бути корисною для міського планувальника. Однак відображення ще й числа школярів у зазначених місцях набагато краще відобразить картину даного розташування.

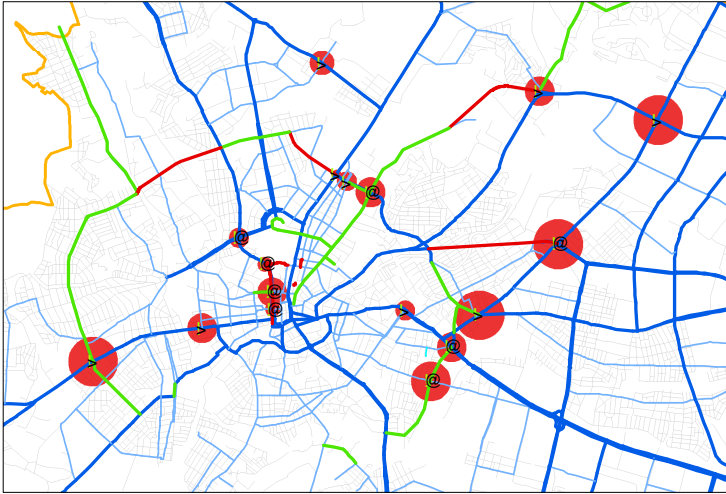


Рис. 11.4.1 – Приклад відображення кількісних показників транспортних вузлів

Типи об'єктів з кількісними характеристиками

Нанесення на карту об'єктів з однотипними значеннями дозволяє візуально зіставити кількісні характеристики цих об'єктів. Знання типу об'єктів, що вимагають відображення на карті, допоможе вибрати оптимальний спосіб відображення. Можна відображати величини, пов'язані з дискретними об'єктами, безперервними явищами або даними, узагальненими по області.

Дискретними об'єктами можуть бути точки на місцевості, лінії або області. Точкові та лінійні об'єкти зазвичай розподіляються за допомогою шкали символів, тоді як області позначають заливкою або штрихуванням, відповідно до їхніх кількісних показників.

Безперервні явища можуть являти собою області або поверхні безперервного розподілу яких значень. Області умовної однорідності безперервних явищ зазвичай відображаються різними кольорами; зміни параметрів поверхні можуть бути позначені відтінками кольору, ізолініями або тривимірною перспективою.

Дані, узагальнені за площею, частіше відображають шляхом призначення глибини відтінків одного кольору для кожної області відповідно до величини узагальненої характеристики або кількості

об'єктів кожного класу в кожній області. Узагальнюють також лінійні об'єкти або навіть області.

Типи кількісних показників

Знання типу числового показника допомагає вибрати кращий спосіб для відображення даних. Числові показники можуть бути представлені кількістю, відносними величинами, категоріями або рангами.

Кількість і величина

Кількість і величина є узагальненими характеристиками об'єктів. Кількість (count) позначає фактичне число об'єктів на карті. Величина (amount) – узагальнене значення, що характеризує кожний об'єкт. Використання кількості або величини дозволяє чисельно зіставляти однотипні об'єкти. Можна відображати кількість і величину як дискретних об'єктів, наприклад, число службовців на кожному підприємстві, так і безперервних явищ, наприклад, щорічні опади у певному місці.

Дані про число або кількість відображаються на карті, якщо необхідно бачити як значення реальних вимірів, так і відносні величини. При відображенні чисельних даних на значення може впливати безліч різноманітних факторів, що може призвести до створення недостовірної карти. Наприклад, при створенні карти, яка показує обсяг продажу в кожному районі, значення обсягу продажів буде залежати також від чисельності населення району.

Якщо узагальнюються дані щодо площі, використовуючи категорії "кількість" або "величина", може відбутися спотворення реальної закономірності розподілу, якщо розміри областей дуже різняться. У цьому випадку краще використовувати відносні величини.

Відносна величина

Відносні величини відображають зв'язок між двома величинами. Відносні величини утворюються шляхом ділення однієї величини, що характеризує елемент, на іншу. Використання відносних величин дозволяє згладити різкі відмінності між розмірами областей або кількістю об'єктів у них так, що відображення розподілу цих величин стає зрозумілішим. Ця властивість робить застосування відносних величин особливо корисним при використанні узагальнених за

площею величин. Найвідоміші відносні величини – середнє, частка і щільність.

Середнє застосовується для порівняння величин, що узагальнено характеризують яке-небудь місце. Щоб отримати середнє необхідно розділити сумарне значення об'єктів на їх кількість. Наприклад, розподіл кількості людей у кожному районі на кількість будинків, розташованих на тій же території, дасть середню кількість людей на будинок.

Частки показують, яку частину цілого складає дана кількість. Щоб обчислити частки, необхідно розділити одномірні величини. Наприклад, розподіл числа 18 30-річних жителів кожного району на кількість усього населення дасть відносна кількість людей віком від 18 до 30 в кожному районі. Частки часто виражаються у відсотках. Значення часток відображаються на карті, якщо ви хочете мінімізувати різницю, обумовлену різною площею районів або різною кількістю об'єктів у їхніх межах. Частки створюються шляхом ділення двох значень даних, що також називається нормуванням даних. Наприклад, ділення кількості об'єктів на займану площу дає значення на одиницю площі, тобто щільність (частоту).

Показник щільності відображає ступінь концентрації об'єктів у різних місцях. Щоб обчислювати щільність, необхідно розділити значення параметра, узагальненого за площею, на величину цієї площі. Результат – кількість на одиницю площі. Наприклад, розділивши населення області на її площу в квадратних кілометрах, можна отримати кількість людей на квадратний кілометр. Щільність добре відображає розподіл, коли розмір областей, якими ви оперуєте, суттєво змінюється. Наприклад, маленькі та великі райони можуть мати приблизно однакову кількість людей, але різну щільність.

Ранги

Ранги дозволяють упорядкувати об'єкти в інтервалі від високого до низького. Вони відображають відносні, а не виміряні величини. Ранги корисні, коли прямі вимірювання або кількісна характеристика залежать від цілої низки чинників. Наприклад, важко кількісно відобразити таке значення як "бурхливість" потоку, однак завжди можна сказати, що потік, який проходить через гірську тіснину, "бурхливіший", ніж струмок, який протікає в жолобі молочної ферми.

Ранги відображаються на карті, якщо потрібні відносні вимірювання, а реальні значення не важливі. Щоб вказувати ранги, можна використовувати ознаки опису (наприклад високий, помірний, низький) або числа (наприклад від 1 до 10). Так як ранги відносні,

можна представляти тільки місце об'єкта по порядку, а не визначати, наскільки вище або нижче інших дане значення. Наприклад, Ви можете уявити, що об'єкт з рангом "3" є вищим ніж "1", "2" – нижчим ніж "4", але Ви не знаєте, наскільки вище або нижче вони один від одного. Ранги часто присвоюються на підставі атрибута об'єкта (типу або категорії) або комбінації атрибутів.

11.4.2 Відображення кількісних даних

Істотним засобом для аналізу структури кількісних даних є спосіб відображення кількостей на карті. Необхідно якомога чіткіше представити кількісні дані на карті, зробити карту простою і відображати на ній тільки ту інформацію, яка потрібна для виявлення необхідних закономірностей. ГІС надає низку можливостей для відображення числових значень на карті, які описані в розділі 3.1.3.

Нанесення на карту власних значень

Наносячи на карту власні, неузагальнені за площею значення, ви відображаєте реальне місце розташування даних. Однак при наявності великої кількості значень цей підхід вимагає істотних зусиль для осмислення винесеної на карту інформації.

Власні значення дозволяють здійснювати пошук закономірностей за первинними даними, коли вперше працюєте з досліджуваною областю або шукаєте слабкі місця в даних. Відображення власних значень необхідно також при ухваленні рішення про угруповання даних у класи. Якщо на карту наносяться ранги, кожен тип символу відповідає певному рангу. Якщо кількість рангів перевищує вісім чи дев'ять, необхідно перегрупувати їх у класи, оскільки велика кількість різних символів на карті ускладнює розпізнавання. Втім, це можна зробити, просто призначаючи один і той самий символ суміжним рангам. Якщо відображається не більше 11-12 унікальних значень або кількість розкритих об'єктів не перевищує 20, можна також використовувати власні значення для відображення відношень або кількісних показників.

Використання класів

При нанесенні на карту кількісних показників з метою виявлення закономірностей розподілу завжди існує проблема вибору між поданням точних значень даних або узагальнення зазначених значень за площею. Зазвичай загальне число, кількість і співвідношення

групуються в класи, бо кожен об'єкт потенційно має різне значення. Це особливо важливо, якщо діапазон значень великий. Якщо кожне значення представлено на карті унікальним символом, і ви вибрали відображення точних значень об'єктів на карті, то оцінити ситуацію можна лише при невеликій кількості значень. Використовують класи тоді, коли необхідне швидке зіставлення даних великих територій або карту планується використовувати для громадського обговорення.

Класи об'єднують об'єкти з подібними значеннями, приписуючи їм однаковий символ. Це дозволяє бачити розподіл об'єктів з подібними значеннями. Призначення діапазону класу вкаже такі об'єкти, до якого класу будуть належати, що, в свою чергу, визначить вигляд карти. Змінюючи класи, з одних і тих самих вихідних даних можна створювати різні карти.

Пошук закономірностей

Карта, яка оптимально представляє інформацію, дозволяє порівнювати різні її частини, щоб бачити закономірності розподілу найвищих і найнижчих величин. Візуальне переміщення між мінімумами і максимумами на поверхні дозволяє позначити місця з різкими і плавними змінами і може дати глибше уявлення про зв'язки між ділянками на місцевості.

Аналіз залежностей між місцезонами об'єктів і їхньою величиною часто допомагає зрозуміти, як поведуться явища. Зміна величини в межах області може бути різкою або пивною. Карта поверхні розподілу доходу могла б допомогти маркетинговій фірмі визначити області цілеспрямованої реклами.

Деякі об'єкти можуть виділятися з оточення. На карті, наприклад, видно, що більшість підприємств має невелике число службовців, виняток становить лише одне. Планувальник транспортної служби хоче знати, де саме розташоване це підприємство.

При узагальненні даних по області слід звертати увагу на характер досліджуваних областей, оскільки це може впливати на видимі закономірності. Так, кілька великих областей можуть затінити тонкі закономірності. І навпаки, використання великої кількості маленьких областей може представити занадто багато місцевих змін, щоб побачити загальні закономірності. Часто подання даних змінюється залежно від рівня узагальнення. Це знаходить своє відображення в видимих закономірностях розподілу.

Дані, зібрані для маленьких областей, можуть у підсумку характеризувати і великі області, але не навпаки. Наприклад, якщо відомо кількість учнів середньої школи у кожному кварталі, можна

отримати загальну їхню кількість у районі. Але з кількості школярів у районі не можна дізнатися їхню кількість у кожному кварталі району. Щоб дати розгорнуте уявлення про те, що робиться на досліджуваній ділянці місцевості, може знадобитися кілька карт.

11.5 АНАЛІЗ ЩІЛЬНОСТІ ОБ'ЄКТІВ

11.5.1 Розуміння щільності об'єктів і підходів до їхнього моделювання

Одна з характеристик місцеположення – щільність (density) розташування об'єктів на місцевості. Щільність характеризує концентрацію, густину об'єктів на місцевості. Щільність об'єктів на певній території виражається кількістю об'єктів, що припадають на одиницю площі цієї території. Щільність визначається місцем розташування об'єктів відносно території.

Просторовими об'єктами, для яких визначають їхню щільність, можуть бути точкові або лінійні об'єкти. Дані належать до однорідної площинної характеристики, найчастіше до гектара або квадратного кілометра. Наприклад, щільність населення міста можна уявити кількістю жителів, що припадають на один квадратний кілометр; щільність дорожньої мережі можна представити кілометрами доріг, що припадають на квадратний кілометр.

Щільності об'єктів для різних місць відображаються на картах, що надає можливість оцінити концентрацію об'єктів на місцевості. Карти щільності досить ефективні як для оцінки характеру розташування індивідуальних об'єктів, так і для картування областей різних розмірів. Відображення щільності особливо актуальне, коли такі області картування, як райони або округи, значно змінюються в розмірі. Якщо показати на карті кількість людей на район, у великих районах вийде більша кількість людей, ніж в менших. Насправді при високій щільності населення менші райони можуть мати більшу кількість жителів на квадратний кілометр.

Щільність може характеризувати як розташування самих об'єктів (наприклад, підприємств), так і числових характеристик об'єктів (наприклад, кількість службовців на кожному підприємстві). Отримані в результаті закономірності можуть бути різними.

Склалися два підходи до моделювання щільності об'єктів території:

- 1) моделювання щільності дискретними областями;
- 2) моделювання щільності безперервними полями.

11.5.2 Моделювання щільності дискретними областями

Дискретними областями, в яких можуть бути розташовані об'єкти різної щільності, є площинні об'єкти реальності, наприклад, ділянки землі, квартали, зони, адміністративні райони, країни... Вони представляються полігональними об'єктами й розташованими в них точковими або лінійними об'єктами.

Значення щільності D отримують для кожної дискретної області як результат ділення загального числа або узагальненого значення V точкових або лінійних об'єктів області на площу S цієї області:

$$D = V / S . \quad (3.1.3.1)$$

На карті кожна область забарвлюється відповідно до отриманої величини. Таким чином легко виявити області вищої щільності.

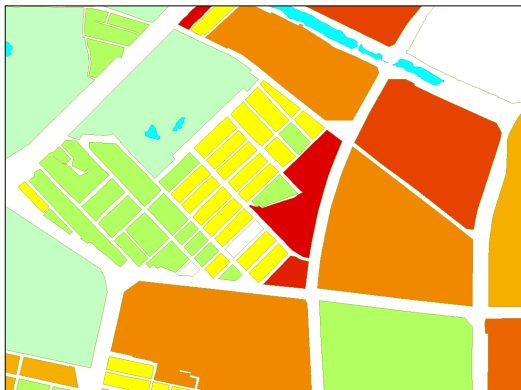


Рис. 11.5.1 – Карта щільності населення міста по кварталах

Недолік методу моделювання щільності дискретними областями полягає у наступному:

- фіксуючи на карті місце розташування великої кількості об'єктів, важко побачити зміну їх концентрації у різних місцях;
- складно визначити точне місце аномалії.

Наприклад, застосовуваний у містобудуванні традиційний підхід до оцінки щільності населення характеризується тим, що ступінь концентрації населення розраховується за кварталами або, відповідно до існуючої нормативної бази містобудування, – за великими планувальними одиницями – житловими районами (80 – 250 га) й мікрорайонами (10 – 60 га). У реальних умовах найбільшого міста планувальні одиниці можуть містити житлові території одного типу забудови – від забудови підвищеної поверховості до забудови садибного типу. Крім того, в одній планувальній одиниці можуть поєднуватися різні типи житлової забудови. Нарешті, у зазначених областях спостерігається змішане функціональне використання території. Тому моделі розселення, побудовані при такому підході, є вельми узагальненими, а в низці випадків істотно спотворюють реальну картину [35].

Можна також використовувати карту, що представляє щільність розташування дискретних об'єктів (людей, дерев, злочинів) шляхом узагальнення окремих об'єктів у якусь умовну точку. Кожна точка представлена вказаною кількістю об'єктів, наприклад, 1000 чи 100 осіб. Точки розташовані безладно всередині кожної області та не відображають фактичного розташування об'єктів. Чим вища концентрація отриманих таким чином точок, тим вище щільність реальних об'єктів у цій області. Відображення на карті щільності у вигляді точкових об'єктів наочніше, ніж проста вказівка величини щільності або відображення кожного об'єкта окремо. Крім того, точки розташовані по всій представленій області, що полегшує розуміння карти.

11.5.3 Моделювання щільності безперервними полями

11.5.3.1 Поняття "поверхня щільності"

Другий підхід полягає в моделюванні щільності безперервними полями, які називають "поверхнями щільності". Поверхні щільності відображають безперервне розташування об'єктів. Поверхні щільності добре відображають місця концентрації точкових або лінійних об'єктів. Карта, що відображає поверхню щільності, дозволяє виміряти

концентрацію об'єктів на одиницю площі в будь-якій точці місцевості, точніше зіставляти області або визначати, чи відповідають вони заданим критеріям.

Наприклад, точки можуть відображати кількість населення в містах, а потрібно побачити щільність населення в регіоні. За даними перепису населення можна дізнатися число жителів у кожному місті. Оскільки мешканці кожного міста не живуть усі в одній точці, обчислення щільності дозволить створити поверхню, яка показує теоретичне розташування населення по території.

Можна створювати поверхню щільності за окремими точками або лінійними об'єктами, наприклад, дорогами або потоками, які можуть являти собою:

- місця розташування об'єктів (клієнтів, злочинів або колодязів);
- точки мережі спостережень (проби якості води в межах озера), які часто розташовуються регулярно і використовуються для відображення на карті безперервних явищ.

Аналіз щільності робить відомими кількості деяких явищ і розташування їх по всій території на основі кількостей, які вимірюються на кожному місці, і просторових відносин місць вимірюваних величин.

Поверхня щільності зазвичай створюється в ГІС як растровий шар. Кожній чарунці такого шару присвоюється значення щільності (наприклад, кількість підприємств на квадратний кілометр), засноване на кількості об'єктів усередині області пошуку. Цей підхід забезпечує найбільш конкретну інформацію, але вимагає великих зусиль для виконання.

Щільність можна обчислювати простим методом або методом ядра.

11.5.3.2 Створення поверхні щільності простим методом

При обчисленні щільності простим методом (Simple Density) підсумовуються значення всіх об'єктів у області пошуку, а потім діляться на розмір області пошуку.

Обчислення щільності точок

Поверхня щільності створюється в ГІС як шар растра. Програма обчислює величину щільності для кожної чарунки шару. Щоб створити поверхню щільності точок, програма оцінює область пошуку – оточення навколо центра чарунки. Область пошуку визначає користувач як коло заданого радіуса захоплення. Визначивши кількість об'єктів, які потрапляють в задане оточення, система ділить її на площу заданого оточення. Значення щільності присвоюється поточній чарунці. Чарунці, в радіус захоплення якої не потрапив жоден об'єкт, значення не присвоюється. Потім обчислення переміщується до наступної чарунки і робиться те ж саме. Таким чином, створюється поле чарунок зі значеннями щільності відносно кожної чарунки, сукупність яких і утворює безперервну поверхню.

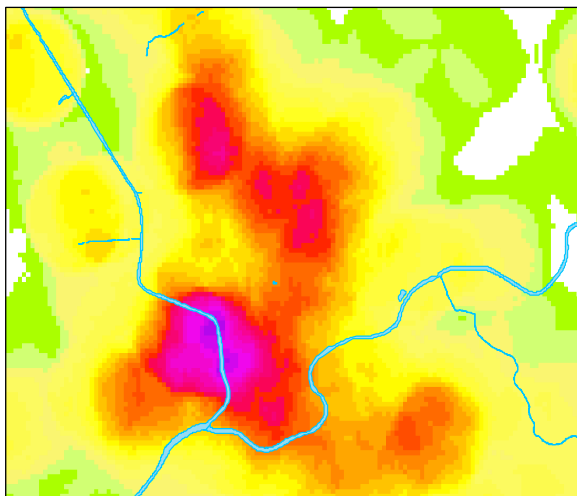


Рис. 11.5.2 – Поверхня щільності автотранспорту [36]

Якщо використовуються значення об'єктів замість їхньої кількості, ГІС узагальнює значення всіх об'єктів, що потрапляють в задане оточення, і ділить отримане число на площу оточення. Так, якщо ви будете карту щільності розподілу службовців, ґрунтуючись на їхній кількості на кожному підприємстві, програма розпізнає підприємства, що потрапляють в оточення, і загальне число службовців розділить на площу даного оточення.

Якщо необхідно створити поверхню щільності за даними, узагальненими за площею, можна використовувати геометричні центри, або "центри тяжіння" певних областей типу поштових округів, щоб створити поверхню щільності за величинами, привласненими кожній області. Це найкраще працює, якщо ви використовуєте велику кількість рівномірно розподілених точок. Наприклад, ви можете використовувати центри тяжіння районів, щоб створити поверхню щільності населення. Це дає можливість краще виявити закономірності розподілу на карті без сприйняття щільності по полігонах.

Обчислення щільності ліній

Поверхня щільності ліній утворюється щільністю лінійних об'єктів у околиці кожної чарунки вихідного растра. Щільність розраховується в одиницях довжини лінійних сегментів на одиницю площі.

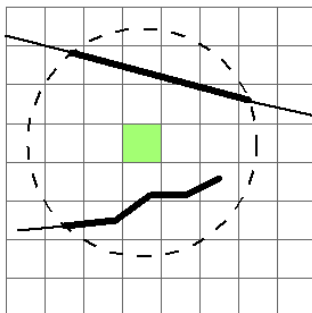


Рис. 11.5.3 – Чарунка растра і коло, використувані з метою визначення довжини для щільності ліній

Поверхні щільності ліній ефективні в аналізі щільності доріг, маршрутів міського транспорту, забезпеченості інженерними комунікаціями територій, аналізі впливу видачків на середовище проживання тварин тощо.

11.5.3.3 Створення поверхні щільності методом ядра

Обчислення щільності методом ядра (Kernel Density) працює аналогічно простому обчисленню, за винятком того, що точки або лінії, що лежать ближче до центру (ядра) області пошуку, отримують

для відповідної чарунки растра більше значення ваги, ніж точки або лінії біля краю області пошуку.

Метод вагових коефіцієнтів використовує математичну функцію для підвищення значень об'єктів, розташованих ближче до центру чарунки. Ваги призначаються як близько розташованим об'єктам, так і тим, що знаходяться за межами радіуса захоплення. Кожній чарунці поверхні розраховується і призначається величина (навіть дуже маленька для найвіддаленіших об'єктів). В результаті при згладжуванні враховується велика площа поверхні щільності, а розподіл об'єктів виходить більш гладеньким. У багатьох випадках, використовуючи метод вагових коефіцієнтів, отримують карту, простішу для розуміння.

Обчислення щільності точок методом ядра

Методом ядра обчислюється щільність точкових об'єктів навколо кожної чарунки вихідного растра. Згладжені вигнуті поверхні встановлюються над кожною точкою. Значення поверхні буде найбільшим в місці розташування точки; воно зменшується із збільшенням відстані від точки, досягаючи значення 0 при відстані, що дорівнює радіусу пошуку від точки. Об'єм під поверхнею дорівнює значенню області для точки або 1, якщо воно не зазначено. Щільність в кожній чарунці вихідного растра розраховується шляхом складання значень всіх поверхонь ядра, де вони покривають центр растрової чарунки.

Збільшення радіуса не буде суттєво змінювати розрахункові значення щільності. Хоча більше точок потрапить у великий окіл, це число буде розділено на велику площу при розрахунку щільності. Основний ефект більшого радіуса в тому, що щільність визначають, враховуючи більшу кількість точок, яка може бути далі від растрового осередку. Це призводить до більш узагальненого растра [14].

Методом ядра може бути обчислена щільність лінійних об'єктів навколо кожної чарунки вихідного растра. Згладжені вигнуті поверхні встановлюються над кожною лінією. Значення поверхні буде найбільшим на лінії; воно зменшується із збільшенням відстані від лінії, досягаючи значення 0 при відстані, що дорівнює радіусу пошуку від точки. Поверхня визначається тим, що обсяг під поверхнею дорівнює добутку довжини лінії і значення поля. Щільність в кожній чарунці вихідного растра розраховується шляхом складання значень всіх поверхонь ядра, де вони покривають центр растрової чарунки.

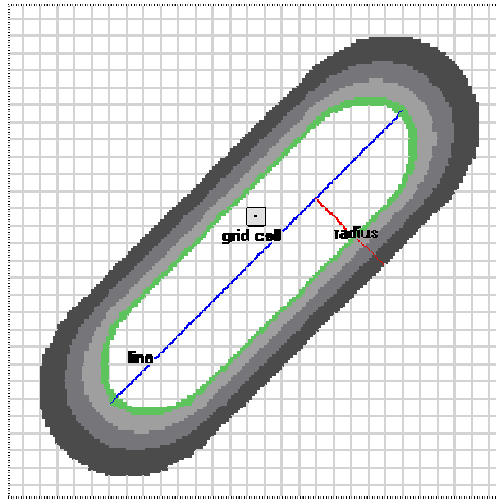


Рис. 11.5.3 – Сегмент лінії і поверхня ядра над нею [14]

11.5.3.4 Параметри розрахунку величини щільності

Існує кілька параметрів з числа визначених користувачем, які впливають на те, як ГІС обчислює поверхню щільності, й таким чином, на одержувані в результаті закономірності розташування. Мова йде про розмір чарунки, радіус захоплення, метод й одиниці розрахунку.

Розмір чарунки

Розмір чарунки визначає, наскільки грубо або детально будуть проявлятися закономірності. Чим менше розмір чарунки, тим гладшою здається поверхня. Однак, це тягне за собою збільшення часу обробки і використовуваного простору пам'яті. Великий розмір чарунки оброблюється швидше, але призводить до грубішої поверхні. Якщо кожна чарунка настільки велика, що включає багато об'єктів, тонкі закономірності можуть бути приховані.

У загальному випадку розмір чарунки підбирається таким чином, щоб отримати від 10 до 100 чарунок на одиницю площі. Наприклад, ви вираховуєте кількість населення на квадратний кілометр, а розмір чарунки дається в метрах, тоді розмір чарунки повинен знаходитися в межах від 100 до 300 метрів. Визначаючи розмір чарунки, спочатку перетворюють одиниці виміру площі (квадратні кілометри) на одиниці

виміру чарунки (метри), потім, щоб отримати площу чарунки, ділять площу області на заплановану на одиницю площі кількість чарунок.

Радіус захоплення

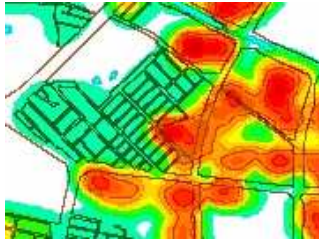
Зазвичай використання великого радіуса захоплення призводить до більш узагальненого відображення поверхні щільності. При великому радіусі захоплення ГІС, обчислюючи величину кожної чарунки, розглядає більшу кількість об'єктів. Кількість об'єктів (або сумарне значення їхніх величин) ділиться відповідно на велику площу. Менший радіус захоплення зазвичай відображає локальніші зміни. Однак, якщо він настільки малий, що більшість чарунок має дуже низькі величини щільності, загальні закономірності в розподілі даних можуть не виявитися. Одиниці радіусу захоплення і одиниці щільності необов'язково повинні збігатися; можна обчислювати щільність на квадратний кілометр, а радіус захоплення визначати в метрах.

Розглянемо приклад визначення поверхні щільності населення великого міста. Визначальним є вибір оптимального радіуса захоплення, адекватного реальній обстановці й розв'язуваній задачі. Вибір радіуса захоплення визначається щільністю оцінюваних об'єктів. У садибної забудови відстані між будинками становлять 25–30 м, в мікрорайонах багатоквартирної забудови 70–200 м. Менший радіус захоплення відображає детальніший розподіл населення і призводить до збільшення діапазону щільності населення. Однак при малому радіусі окремі будівлі можуть не потрапити в коло захоплення і загальні закономірності не виявляться. Використання великого радіуса сприяє узагальненому відображенню концентрації населення і зменшенню діапазону щільності населення.

У разі витягнутих будівель доцільна розбивка їх на секції. Площа розселення збільшується зі збільшенням радіусу захоплення. Для карт щільності, побудованих за агрегованим даними, ця площа буде найбільшою. Для низки задач (розробка генерального плану, детальних планів території, проектів забудови, зонінгу, оптимізації транспортної мережі) у розглянутому прикладі доцільно використовувати поверхні щільності з радіусом захоплення 200 м [35].



а)



б)



в)

Рис. 11.5.4 – Поверхні щільності населення за радіусом захоплення
а) 100 м, б) 200 м, в) 300 м [35]

Поверхні щільності населення дають точніше уявлення про розподіл населення для вирішення багатьох проблем урбаністики, істотно розширюють можливості детального дослідження щільності населення найбільшого міста, надаючи для цього нові інструменти.

Одиниці виміру

ГІС дозволяє встановлювати прийняті в даній області одиниці виміру, в яких вам необхідно представити величину щільності. Необхідно тільки вказати розмірність значень, що характеризують об'єкти на вашій карті. Наприклад, використання квадратних метрів

притаманне картам рослинності, оскільки можна отримати кілька таких об'єктів на квадратний метр, а щільність підприємств або людей зазвичай підраховують на гектари або квадратні кілометри.

Якщо одиниці виміру відрізняються від одиниць виміру чарунки, значення в легенді екстраполюються, щоб кількість об'єктів, які попадають у кожную область на карті, не надто перевищувала фактичну. Якщо одиниці – квадратні кілометри, значення легенди, що відбиває кількість підприємств, в середньому могло би бути в межах квадратного кілометра при даній щільності.

11.5.3.5 Відображення щільності на карті

Використання шкали кольорів

Для відображення щільності на карті можна використовувати кольорові заливки областей, засновані на щільності розподілу величин всередині них, або створити поверхню щільності. Можна відображати поверхню щільності, використовуючи шкалу кольорів або ізолінії.

Оскільки кожна чарунка поверхні має унікальну величину щільності, необхідно класифікувати ці значення, щоб систематизувати зображення. Можна визначити параметри класів вручну або використовувати можливості ГІС в реалізації стандартних схем класифікації.

ГІС надає можливість користувачеві самому визначати кількість класів для розміщення значень щільності. Велика кількість класів згладжує візуальний ефект. Якщо класів занадто багато, тобто більше ніж 15 або близько того, інформації на карті не додається, оскільки кольори починають змішуватися, і класи важко розрізняються. Використання малої кількості класів (менше ніж три чи чотири) виявить області з найвищою щільністю, але не зможе відобразити тонкощів розподілу.

Поверхні щільності зазвичай відображають у відтінках одного кольору. Але якщо застосували метод класифікації за середньоквадратичним відхиленням, доречно використовувати відтінки двох кольорів: одного для величин, що нижчі середнього значення, а іншого – для величин, які вище середнього значення.

Зазвичай області вищої щільності відображаються темнішими кольорами, бо більшість людей асоціює темніший колір з поняттям "більше". Однак, можна створити ефектну карту, використовуючи світлі кольори для вищої щільності, оскільки людське око переважно тяжіє до світлих, а не до темних областей.

Використання ізоліній

Більшість видів програмного забезпечення ГІС, включаючи ArcGIS Desktop, створює ізолінії поверхні автоматично. Ізолінії добре показують інтенсивність зміни поверхні – чим гущі ізолінії, тим інтенсивніше зміна. Краще вибрати переріз горизонталей, який виявляє закономірності в областях плавної зміни поверхні, не домагаючись адекватного відображення аномальних ділянок. Комбінація ізоліній з кольоровим градуванням поверхні щільності дозволяє користувачеві швидко виявляти області найвищої щільності, а також оцінити інтенсивність зміни.

Перегляд результатів

Закономірності, відображені на вашій карті, частково залежать і від того, як створювалася поверхню щільності:

- поверхня щільності може показати, як проходить зміна величини в межах області;
- на результат, отриманий за допомогою поверхні щільності, впливає також розподіл вихідних точок; чим більша кількість вихідних точок і рівномірніший їхній розподіл, тим більш надійними будуть виявлені закономірності;
- проміжки між вихідними точками можуть слугувати мірою оцінки показності даних;
- у місці, де з'явилася в результаті аномалії щільність, може зовсім не бути конкретного об'єкта, бо ГІС обчислює величини в межах оточення кожної чарунки;
- при створенні поверхні щільності в процесі інтерполяції даних аномально високі або низькі величини можуть зникати; це спрощує і робить наочнішим розподіл, але неминуче веде від конкретного місця аномалії; тому рекомендується відображати точки розташування вихідних об'єктів або безпосередньо на поверхні щільності, або на окремій карті.

11.6. АНАЛІЗ ОТОЧЕННЯ

11.6.1 Сутність аналізу оточення

11.6.1.1 Розуміння аналізу оточення

Місце розташування об'єкта на місцевості характеризує оточуючі його інші об'єкти. Аналіз оточення дозволяє оцінити розташування об'єкта відносно інших об'єктів на місцевості, прилеглий до об'єкта. Аналіз оточення (Finding what's neareby) має за мету визначити, що знаходиться в межах установленної відстані від об'єкта або в зоні його транспортної доступності [3].

При визначенні того, що знаходиться на певній від об'єкта відстані, ідентифікується область, на яку вплинула подія або проведена діяльність, а також об'єкти, які розташовані в її межах. Наприклад, при плануванні району, можливо, буде потрібно оповістити всіх, хто живуть в радіусі кілометра, про новий дитячий садок. Оцінка навколишньої території на заданій відстані так само дозволяє контролювати діяльність у заданому районі. Наприклад, державний інспектор може контролювати заготівлю лісу, не допускаючи вирубування в 100-метровій зоні вздовж річок або струмків.

Діапазон просторових змін об'єкта вимірюється за допомогою таких понять, як відстань, час або витрати. Визначення того, що потрапляє в діапазон переміщень або зміни об'єкта допомагає визначити зону впливу. Пожежний інспектор може дізнатися, які вулиці знаходяться в трьох хвилинах їзди від пожежної станції, аналітик ринку роздрібного продажу може визначити, скільки людей живе в п'ятнадцяти хвилинах їзди від пропонованого місця нового магазину.

Знання того, що знаходиться в зоні переміщення або зміни об'єкта, дає можливість ідентифікувати області, з різних причин зручні або придатні для специфічного використання. Наприклад, еколог, що вивчає природу, відображає на карті область, розташовану за 1 км від річки, а потім співвідносить її з видом тварин, ухилами та іншими факторами, щоб позначити передбачуваний ареал їхнього проживання. Рішення, як вимірювати віддаленість об'єктів і яку інформацію ви плануєте отримати в результаті проведення аналізу, допоможе визначити тип використовованого методу.

Аналіз оточення виконується штатними аналітичними засобами, які розглянуті раніше в розділі 2.5 цього посібника. Тому тут при виконанні конкретних задач аналізу оточення доцільно використовувати відповідні рішення, викладені в зазначеному розділі.

11.6.1.2 Міри віддаленості

У багатьох випадках область оточення задається віддаленістю від вихідного об'єкта. Розрізняють дві міри віддаленості. Однією мірою віддаленості об'єктів є відстань. Іншою мірою віддаленості об'єктів є витрати на пересування від джерела до об'єкта або навпаки. В якості витрат використовують:

- час;
- витрачені зусилля;
- грошовий еквівалент.

Однією з найбільш відомих мір витрат є час. Наприклад, при інтенсивному дорожньому русі доводиться довше добиратися до мети. Інші витрати мають грошовий еквівалент (наприклад, вартість кілометра автоперевезень) або враховують витрачені зусилля (наприклад, пересування по гірській місцевості). Якщо вивчаються переміщення, можна виміряти віддаленість, використовуючи функцію відстані або витрат часу в дорозі.

11.6.1.3 Способи вимірювання віддаленості

Способи вимірювання віддаленості визначаються аналітичними засобами дистанційного аналізу (Distance analysis). Для того щоб оцінити найближче оточення, необхідно виміряти: а) відстань по прямій лінії, або б) відстань, витрати, необхідні для переміщення мережею, або в) відстань, витрати, необхідні для переміщення поверхнею.

Відстань по прямій лінії

Найпростішим способом визначення оточення є визначення відстані по прямій лінії. Вимірюючи найкоротшу відстань, ви призначаєте початковий об'єкт і дистанцію, а ГІС визначає область або навколишні об'єкти, розташовані в межах даної дистанції. Це зручно для створення кордонів або для вибору об'єктів у межах установленної відстані навколо об'єкта. В якості вихідних даних потрібен шар, що

містить об'єкт-джерело і шар, що містить об'єкти оточення. Навколишні об'єкти можуть просто перебувати в зоні впливу джерела. У цих випадках не оцінюється пересування між джерелом і навколишніми об'єктами. Область впливу зазвичай вимірюється з використанням відстані по прямій лінії. Відстань по прямій лінії обчислюють як "евклідова відстань" (Euclidean distance) за формулою:

$$D = \text{sq root } [(x_1 - x_2) ** 2 + (y_1 - y_2) ** 2]. \quad (3.1.6.1)$$

У ряді випадків використовують "Манхеттенську відстань" (Manhattan distance), яку обчислюється за формулою:

$$D = \text{abs } (x_1 - x_2) + \text{abs } (y_1 - y_2). \quad (3.1.6.2)$$

Відстань або витрати по мережі

Вимірювання відстані або витрат по мережі або поверхні може дати точніші уявлення про те, що знаходиться поруч. Місцезнаходження джерела і відстань або витрати часу в дорозі призначаються уздовж всіх лінійних об'єктів. ГІС знаходить, які сегменти мережі знаходяться в межах даної відстані або витрат на пересування. Потім можете використовувати область, покриту цими сегментами, для оцінки оточення поруч з кожним джерелом. Цей підхід рекомендується для знаходження об'єктів, розташованих в межах заданої відстані або витрат за умови руху по фіксованій мережі. Для вирішення задачі вихідними даними є: об'єкт-джерело, шар з об'єктами мережі й, в більшості випадків, шар, що містить об'єкти оточення. Кожному сегменту мережі необхідно призначити характеристику, визначальне значення його довжини або витрат на пересування. Наприклад, пожежна машина рухається від станції до місця пожежі.

Витрати по поверхні

Для оцінки оточення в якості вихідних даних потрібен шар, що містить об'єкти-джерела і шар, що представляє поверхню витрат на пересування. Необхідно призначити місце розташування об'єкта-джерела і витрати часу в дорозі. ГІС створює новий шар, що показує витрати часу на пересування від кожного об'єкта до джерела. Цей підхід рекомендований для розрахунку витрат часу на пересування по безперервній поверхні витрат. Наприклад, витрати на пересування по пересіченій місцевості.

11.6.1.4 Інформація, що отримується в результаті аналізу

У результаті проведення аналізу отримують перелік, кількість об'єктів або підсумкові статистичні дані, засновані на атрибутивній інформації.

Перелік. Прикладом переліку може слугувати поле Parcel ID та адреса кожної ділянки в межах 100 метрів від проектованої дороги.

Кількість. Кількість може бути загальною або розподіленою за категоріями. Наприклад, можна отримати загальну кількість дзвінків до служби швидкої допомоги, що надходять із трикілометрової зони станції протягом місячного періоду, або підрахувати кількість звернень кожного типу, розподілених за категоріями.

Статистичні дані. Статистичні дані, такі як середнє, мінімум, максимум або стандартне відхилення, наприклад, середня площа будівель, які знаходяться в трьох хвилинах їзди від кожної пожежної станції.

Кількість градацій. Можна створювати одну або декілька градацій за відстанню або витратами. Якщо визначається більш однієї зони, то можна розташувати їх або у вигляді концентричних кілець, або у вигляді окремих областей. Концентричні зони зручні для оцінки приросту з відстанню. Наприклад, можна розрахувати кількість покупців у межах 1000, 2000, 3000 метрів від магазину і визначити кількість покупців. Окремі області ефективні в разі зіставлення відстані з іншими характеристиками. Наприклад, можна розрахувати кількість покупців у межах 1000, 2000, 3000 метрів від магазину і потім розрахувати величину збільшення часу на дорогу до магазину.

1.1.6.2 Використання відстані по прямій лінії

Використання відстані по прямій лінії – швидкий спосіб дізнатися, які об'єкти знаходяться в межах заданої відстані від джерела, і отримати інформацію про них. Це можна зробити декількома способами.

- Створити буферну зону і визначити, що знаходиться в її межах. Наприклад, буфер навколо річки.
- Обрати об'єкти, розташовані на заданій відстані від джерела. Наприклад, ділянки, відібрані на відстані 100 метрів від дороги.

- Розрахувати відстань від об'єкта до об'єкта і використовувати його для оцінки оточення. Наприклад, місце розташування клієнтів банку, обраних на заданій відстані від банку.
- Створити дистанційну поверхню для отримання безперервного поля відстаней від джерела. Наприклад, безперервне поле відстаней від річки.

У будь-якому з наведених методів за допомогою простих геометричних побудов програма розраховує відстань по прямій лінії (або евклідову відстань) за координатами кінцевих точок цієї лінії.

11.6.2.1 Використання буферної зони

Першим широко використовуваним засобом оцінки найближчого оточення по прямій лінії є буферні зони. Методи створення буферних зон обговорені детальніше в розділі 9.2.1 цього посібника.

Створену буферну зону слід відобразити на карті для візуальної оцінки об'єктів, що потрапили всередину, або їх вибору. Це дає можливість отримати перелік об'єктів або підрахувати їхню кількість. Якщо об'єкти, що знаходяться всередині буфера, є лініями або полігонами, необхідно вирішити, чи розглядати тільки ті об'єкти, які цілком потрапляють в буфер, або лише частково знаходяться в ньому.

Аналіз оточення декількох джерел

Якщо необхідно оцінити оточення більш ніж одного джерела одночасно, побудуйте окремі буфери й виберіть об'єкти, складові оточення кожного з них. В іншому випадку можна буде тільки визначити факт потрапляння об'єкта оточення в зону впливу, принаймні, одного або декількох джерел. Наприклад, вибір дзвінків за телефоном 101 всередині загальної кілометрової буферної зони, побудованої навколо декількох пожежних станцій, не дасть можливості визначити найближчу від точки виклику станцію. Для цього необхідно оцінити буферну зону заданого радіуса навколо кожної станції окремо.

Пошук об'єктів усередині декількох дистанційних поясів

Для того щоб знати, які об'єкти знаходяться всередині концентрично розташованих зон віддаленості від декількох вихідних об'єктів (наприклад, покупці в межах 300, 600, 900 метрів від магазинів), потрібно створити кілька окремих буферів і вибрати об'єкти, які потрапляють в кожен. Для визначення об'єктів усередині

окремих дистанційних поясів (наприклад, покупців, що знаходяться у межах 300 метрів, покупців, що перебувають у межах від 300 до 600 метрів, і покупців, що перебувають у межах від 600 до 900 метрів від магазину), необхідно задати ці три діапазони, і програма створить відповідні зони одночасно. Потім можна вибрати об'єкти всередині визначеного діапазону відстаней.

11.6.2.2 Вибір об'єктів у межах заданої відстані

Вибір об'єктів, розташованих поряд з одним джерелом

Другим засобом оцінки найближчого оточення по прямій лінії є вибір об'єктів у межах заданої відстані. Для вибору об'єктів, що знаходяться поруч з джерелом, необхідно призначити відстань від джерела; програма вибирає навколишні об'єкти в межах цієї відстані. Різниця полягає в тому, що ГІС не створює межі навколо джерел. Програма розраховує відстань і вибирає об'єкти, не створюючи буфера. Вибір в межах відстані застосовують, коли потрібно отримати відомості про об'єкти, що розташовуються поруч з джерелом, і немає необхідності створювати й відображати буферну зону. Програма вибирає об'єкти, якщо навіть частина кожного з них знаходиться не далі встановленої відстані. Як тільки програма вибрала об'єкти, можна отримати їхній перелік, підрахувати кількість або дізнатися статистичні дані, засновані на їхніх атрибутах.

Вибір об'єктів, розташованих поряд з декількома джерелами

Якщо необхідно дізнатися, які об'єкти знаходяться на заданій відстані від більш ніж одного джерела, встановіть код для кожного з них. Інакше важко буде встановити, в зону дії якого джерела потрапив об'єкт. Наприклад, для вибору клієнтів не далі 2000 метрів від філії А банку встановлено у таблиці даних для цих об'єктів значення 1. Потім для вибору об'єктів не далі 2000 метрів від філії Б банку встановлено в іншому полі значення цих об'єктів також 1. Після цього, вибираючи об'єкти, у яких обидва коди дорівнюють 1, можна отримати список клієнтів, розташованих не ближче 2000 метрів від обох філій.

Вибір об'єктів усередині зон різної віддаленості

Якщо необхідно дізнатися, що знаходиться всередині зон різної віддаленості (наприклад, виявити покупців, що живуть в межах 1000, 2000, 3000 метрів від магазину), слід зробити вибір в кожній із зон. Якщо потрібно знайти, які об'єкти знаходяться в кожному діапазоні

відстаней (наприклад, виявити покупців, що живуть в межах 1000 метрів, від 1000 метрів до 2000, від 2000 метрів до 3000 метрів від магазину), потрібно вибрати об'єкти всередині кожного діапазону і позначити їх кодом (наприклад, 1, 2, 3).

Оцінка віддаленості об'єкта

При пошуку окремих об'єктів на заданій відстані від джерела ГІС може розрахувати найкоротшу відстань до кожного з них від найближчого джерела. Це дає можливість не просто встановити факт потрапляння об'єкта в межі заданої дистанції, але і дізнатися, наскільки далеко кожен об'єкт в дійсності розташований від джерела. ГІС також розраховує відстань від об'єкту до найближчої точки лінійного об'єкту, наприклад, колодязя до дороги.

ГІС також може знайти відстань між об'єктами оточення і різними джерелами. ГІС дозволяє:

- визначити, які об'єкти розташовані поблизу від декількох джерел, а які – тільки від одного (наприклад, в яких районах більше клієнтів знаходяться поряд з кількома ресторанами);
- визначити, яке джерело є другим або третім за віддаленості від кожного об'єкта (наприклад, дізнатися найближчі або другі за віддаленості від певного місця пункти швидкої допомоги);
- зіставити фактор віддаленості з іншими факторами (наприклад, можна порівняти відстань від кожного покупця до магазину з числом його візитів, а потім узагальнити цю інформацію, прорахувати залежність кількості візитів в магазин від відстані до нього).

Якщо оцінюється більш ніж одне джерело, можна вказати максимальну відстань, у межах якого відбираються всі об'єкти.

Отримання інформації

Якщо розраховується відстань між об'єктами оточення і найближчим джерелом, у таблиці даних додається відстань до кожного об'єкта разом з індексом найближчого джерела. Якщо розраховується відстань між об'єктами оточення і декількома джерелами, в результаті утворюється новий список у таблиці, в якому для кожного об'єкта вказані індекс кожного джерела і відстань до нього. Кожен об'єкт має інформацію про відстань до джерела, достатньо просто скласти список об'єктів, що знаходяться на різних дистанціях від джерел. Наприклад, можна дізнатися, які покупці знаходяться в радіусі 5 і 10 км від магазину. Для знаходження цього потрібно просто класифікувати об'єкти за ознакою віддаленості від джерела. Даний метод так само дає

можливість отримати короткі статистичні дані щодо об'єктів у межах заданої дистанції, такі як середня відстань від підприємств до філії банку або середня відстань від колодязів до річки.

11.6.2.3 Використання дистанційної поверхні

Третім засобом оцінки найближчого оточення по прямій лінії є дистанційна поверхня. Вона створюється як безперервна поверхня відстаней від джерела. За нею легко побудувати буферну зону заданої ширини, встановити відстані до окремих об'єктів, що оточують джерело, або знайти кількість безперервних явищ, таких як ґрунт або рослинність, в межах заданої відстані від джерела. Аналітик визначає шар, що містить джерело, а програма створює новий растровий шар, розрахувавши відстань від кожної чарунки до найближчого джерела.



Рис. 11.6.1 – Дистанційна поверхня

Кожна чарунка дистанційної поверхні має унікальне значення. Для відображення цих значень використовують безперервну або згруповану по класах шкалу кольорів, що дозволяє побачити просторові зв'язки. Настільні програмні продукти ArcGIS створюють такі відображення за замовчуванням. Якщо необхідно показати на дистанційній поверхні інші об'єкти, щоб провести дистанційний аналіз, можна використовувати легенди за замовчуванням або створювати свої класи й колірні градації.

Залежно від способу вимірювання віддаленості поверхні діляться на ізотропні та фрикційні.

Ізотропна дистанційна поверхня – це растровий шар карти, кожен піксель якого містить інформацію про просту відстань від певної точки

або межі певного об'єкта. Карта ізотропної поверхні є, по суті, картою маршрутів з заданої точки до всіх інших об'єктів бази даних. Її перевага очевидна, коли потрібно виконати велику кількість вимірювань відстані від однієї точки або миттєво оцінити, які об'єкти потрапляють у зони певної віддаленості від місця події.

Фрикційна поверхня (від англ. friction – тертя) – це растровий шар карти, кожен піксель якого містить інформацію про опір до руху в даному напрямку. Бар'єри на поверхні задаються шляхом призначення окремим пікселям поверхні або її ділянкам певного значення опору, який відповідає характеру перешкоди. Використання фрикційної поверхні дає можливість пошуку маршруту найменших витрат або легшого шляху для подолання відстані між двома точками покриття.

11.6.3 Використання відстані або витрат по мережі

11.6.3.1 Призначення мережного шару

У реальності переміщення транспорту, людей, речовин відбувається не прямими лініями, що з'єднують об'єкт-джерело з цільовим об'єктом призначення, а за реальними шляхами. Ці шляхи моделюються мережними структурами, що представляють системи послідовно зв'язаних лінійних об'єктів. Відстань від об'єкта-джерела до об'єкта-призначення, розрахована по мережі, буде завжди більшою або, в крайньому випадку, дорівнювати відстані, розрахованій по прямій лінії.

ГІС проводить аналіз об'єктів мережі, таких як вулиці або трубопроводи, оцінюючи їхнє розташування в межах заданої відстані та витрат часу або коштів на рух по ним від об'єкта-джерела. Об'єкти-джерела в мережі часто називають "центрами", бо зазвичай вони являють собою центри, до яких (або від яких) переміщуються люди, товари або послуги. У результаті можна визначити об'єкти оточення за межами або всередині області, що вміщує зазначені лінії, а також дізнатися, які лінії знаходяться поряд з центром, наприклад, вулиці, розташовані в трьох хвилинах від пожежної станції. Або можна дізнатися, скільки і яких об'єктів знаходиться поряд з центром, наприклад, скільки покупців знаходиться в межах 10 хвилин їзди від магазину.

Аналітичні засоби для виконання аналізу по мережі описані в розділі 10 цього посібника.

11.6.3.2 Оцінка параметрів вуличної мережі

Геометрична мережа складається з лінійних сегментів (edges), вузлів (junctions) і пунктів повороту (turns). Вузли – це точки, де з'єднуються лінійні сегменти. Пункти повороту використовуються для визначення витрат проходження через вузол. Мережні дані визначають, які лінійні сегменти з'єднуються. Для отримання точних результатів мережа повинна мати наступне:

- правильне розташування лінійних сегментів;
- актуальний стан лінійних сегментів;
- точне положення з'єднань мережі;
- точні характеристики кожного мережного з'єднання.

Вулична мережа зазвичай використовується для оцінки оточення. Кожному відрізьку вулиці відповідають певні витрати на переміщення від об'єкта-джерела до об'єктів оточення. Величину опору переміщенню часто називають "*імпедансом*". Найбільш відомі міри опору – відстань, час і гроші, наприклад, вартість кілометра автоперевезень, заснована на трудовитратах, витратах пального і обслуговуванні.

Визначення відстані

Програма обчислює відстані до кожного найближчого вузла по всій мережі, починаючи від призначеного об'єкта-джерела. Якщо відстань менша, ніж максимальне встановлене значення, вузлу привласнюється код даного центру. Потім програма переходить до останнього вузла, позначеного кодом даного центру, і перевіряє відстань від нього до всіх найближчих вузлів. Отримана відстань додається до вимірювання раніше значенням від об'єкта-джерела до поточного вузла для визначення загальної відстані. Процес продовжується по всіх напрямках, розраховуючи сукупну відстань доти, поки встановлене максимальне значення не буде досягнуто.

Аналітик визначає розташування центру і максимальна відстань, а програма призначає сегменти до найближчого центру в межах максимальної відстані. Таблиця атрибутів шару мережі включає поле, що містить довжину кожного сегмента, тому спеціально не доведеться розраховувати цю характеристику.

Оцінка витрат на переміщення

Для оцінки оточення з використанням часу чи якоїсь іншої величини необхідно зіставити для кожного сегмента вулиці витрати на його подолання. Один із способів зробити це – розрахувати питомі витрати і помножити їх на довжину кожного сегмента. Загальні витрати визначити за формулою:

$$\text{Загальні витрати} = \text{Питомі витрати} * \text{Довжина сегмента}.$$

Питомі витрати повинні бути константою, розрахованою на основі зовнішньої інформації. Наприклад, витрати праці і пального в процесі автоперевезень становлять 5 гривень за кілометр. Вартість залежить від типу вулиці. Наприклад, можна позначити загальноміські дороги швидкістю 60 км за годину, а дороги місцевого значення швидкістю в 40 км за годину. Можна розрахувати грошові витрати шляхом множення довжини сегмента на питому вартість поїздки.

Час в дорозі є однією із загальноприйнятих заходів затрат. Витрати часу в дорозі можна розрахувати декількома методами. Один з них – задати, якщо відомо, дійсний середній час у дорозі для кожного сегмента вулиці. Час у дорозі слід обчислити за формулою:

$$\text{Час, хв.} = \text{Довжина сегмента, м} * \text{Швидкість, км / год.} * 1000/60.$$

Якщо час у дорозі невідомий, але є значення швидкості для кожного сегмента вулиці, можна розрахувати приблизний час в дорозі шляхом множення довжини сегмента на обмеження по швидкості. Якщо немає обмежень швидкості для кожного сегмента, можна використовувати тип вулиць як еквівалент. Наприклад, ви можете позначити швидкість на всіх вулицях районного значення 50 км за годину, а на всіх вулицях місцевого значення – 40 км за годину. Можна також визначити витрати на подолання вузлів між сегментами або зупинок, а також обмежити придатні для проїзду сегменти й встановити напрямки одностороннього руху.

Визначення зупинок і поворотів

Повороти і зупинки зазвичай використовуються для розрахунку витрат часу в дорозі. Наприклад, ви можете визначити, що правий поворот на такому-то перехресті займає в середньому три секунди, тоді як лівий поворот займає сім секунд. Або зупинки на відповідних знаках займають в середньому три секунди, тоді як зупинки на забороняючих сигналах світлофора займають в середньому 30 секунд. Необхідність використання поворотів і зупинок багато в чому визначається точністю аналізу. Важливіше, наприклад, враховувати ці параметри при визначенні вулиць, що знаходяться в межах трьох

хвилини їзди від пожежної станції, ніж при оцінці покупців, розташованих в 15 хвилинах їзди від магазину.

Для присвоєння величини витрат повороту або зупинки необхідно створити таблицю, в якій перераховані досліджувані вузли. Якщо вузол не входить в список, програма ГІС припускає, що він не викликає додаткових витрат. Таблиця перераховує числові ідентифікатори вузла, ідентифікатор сегмента "від" шару мережі, ідентифікатор "до" шару мережі та значення вартості для повороту або зупинки (наприклад – 3 секунди або 10 копійок). Коли програма ГІС відзначає сегменти, вона знаходить ідентифікатор кожного вузла, до якого вони ведуть, перевіряє в таблиці, чи включений вузол в список, і якщо це так, знаходить специфікацію поворотів ("до" і "від" сегмента) і витрати на подолання цього повороту. Потім додає розраховані витрати до загальних.

Зупинка розраховується так само, як і поворот.

Так само можна задати напрям руху (наприклад, на вулицях з одностороннім рухом), закрити сегменти (наприклад, вулиці, закриті на ремонт) або заборонити повороти (наприклад, на перехрестях із забороненим поворотом ліворуч). Спосіб створення цих обмежень залежить від програмного забезпечення ГІС, яке використовується. У загальному випадку слід встановити дозволяючий або забороняючий код для кожного сегмента або повороту, який регулює рух.

Використання більш ніж одного об'єкта-джерела

Якщо є декілька об'єктів-джерел, програма присвоїть кожному відповідний код. Можна встановити однакові або різні максимальні відстані та питомі витрати для кожного центру. Наприклад, центри, розташовані в сільській місцевості можуть мати вищий рівень вартості поїздки, ніж міські райони, оскільки дальність транспортних маршрутів тут більша.

Відоображаючи на карті кілька центрів, можна бачити, які області не наближаються ні до одного центру, а які розташовані поруч з кількома. Так само можна бачити якісь центри мають багато об'єктів оточення, а які лише кілька.

11.6.3.3 Вибір об'єктів оточення

Як тільки програма ідентифікувала всі сегменти в межах заданої відстані або витрат, можна визначити, що знаходиться всередині області, що містить ці сегменти.

Використання межі

Можна створити межу навколо вибраних сегментів і накласти її на інший шар або підсумувати значення, пов'язані з кожним сегментом, відповідно до пошуку по мережі. Межа створюється у разі, якщо:

- необхідно мати перелік окремих об'єктів;
- необхідно проаналізувати інші об'єкти в області, що містить вибрані сегменти;
- потрібно узагальнити дані за областями (наприклад, потрібно отримати загальну кількість сімей, внесених до списку перепису, щоб знайти число сімей, що проживають в 15 хвилинах їзди від центру переробки);
- потрібен перелік, кількість або узагальнене значення для лінійних об'єктів або областей (наприклад, загальна довжина річок в межах півгодини їзди від міста).

Можна створити межу вручну, накресливши лінію навколо вибраних сегментів, або ГІС може створити її автоматично. Накреслення кордону вручну дає більший ступінь свободи: можна використовувати вибрані сегменти як зразок і включити або виключити області, засновані на інших міркуваннях, таких як адміністративні кордони або інші об'єкти.

Програма ГІС може накреслити або локальну, або спільну межу. Загальна межа пов'язує найвіддаленіші частини вибраних сегментів, тоді як локальна межа тільки окреслює вибрані сегменти. ГІС може створити спільну межу значно швидше, ніж локальну. Загальна межа може допомогти приблизно визначити, скільки людей проживають на відстані кілометра від бібліотеки, тоді як локальна межа здатна обмежити будинки, що знаходяться в трьох хвилинах їзди від центру.

Вибір навколишніх об'єктів

Як тільки створена межа, можна визначити, що знаходиться всередині неї, використовуючи функцію вибору навколишніх об'єктів або шляхом накладення її на навколишні об'єкти. Глава 2.2 "Функції вибору даних" описує, як це зробити. Для того щоб визначити, що знаходиться в межах різних відстаней або величини витрат, ГІС може аналізувати відрізки відстаней. Наприклад, необхідно визначити розташування покупців у межах 0–1 км, 1–2 км і 2–3 км від магазину. ГІС оцінює всі три відрізки одночасно. Якщо потрібно знайти об'єкти в межах заданої відстані або витрат, наприклад, покупців, що знаходяться на відстані 0–1 км, 0–2 км і 0–3 км від магазину, потрібно визначити сегменти для кожного діапазону. Потім можна вибрати, що

знаходиться в кожній області й отримати перелік об'єктів і їхніх властивостей.

Підсумовування по ходу

Підсумовування по ходу виконується, якщо:

- необхідно розрахувати кількість об'єктів уздовж сегментів мережі або статистику характерних значень цих об'єктів;
- не потрібен перелік окремих об'єктів.

При використанні цього методу ГІС підсумовує кількість або величину безпосередньо в процесі пошуку по мережі. Для цього необхідно вказати значення досліджуваного параметра для кожного сегмента. Наприклад, можна виявити, скільки людей працює на кожному відрізь вулиці шляхом підсумовування числа робочих на кожному підприємстві з урахуванням його адреси. Потім слід зберегти це число в таблиці атрибутів шару для кожного відрізка вулиці. Під час визначення відрізків вулиць, що належать даному центру, ГІС проводить поточний підрахунок числа робітників. Коли досягається максимальна відстань, визначена раніше, остаточне підсумкове число записується у відповідне поле в таблиці атрибутів центру.

Можна так само спеціально вказати умови припинення аналізу, наприклад, після досягнення максимальної кількості або величини. Можна визначити кількість учнів початкової школи, додаючи вулиці доти, поки не буде досягнуто максимальне підсумкове число учнів – 400. Всі учні, які живуть на цих вулицях, будуть приписані до найближчої школи.

Після закінчення визначення відрізків ГІС автоматично відображає всю мережу і виділяє вибрані відрізки.

11.6.4 Використання витрат по поверхні

Розрахунок витрат на пересування поверхнею дозволяє визначити, до яких об'єктів можна достатися при заданих умовах руху. За допомогою цього методу ГІС створює растровий шар, в якому значеннями кожного осередку є загальні витрати на переміщення від найближчого джерела. На поверхні витрат добре видно напрямки та інтенсивність їхніх змін, тому можна легко встановити закономірності зростання або зменшення даної величини в процесі переміщення від джерела. Так само нескладно визначити, що і скільки знаходиться в

межах, досяжних при заданих витратах, або визначити витрати на дорогу до окремих об'єктів від джерела.

11.6.4.1 Створення поверхні витрат

Витрати можуть включати час, гроші (за квадратний метр будівництва) або деякі інші витрати, такі як витрачені зусилля. Наприклад, можна виявити, що всюдиходу легше пройти відкритим лісом, ніж через густий чагарник; таким чином, витрати на проходження лісової ділянки будуть нижчими.

Для розрахунку витрат по поверхні, необхідно визначити шар, що містить джерело і другий шар, який включає значення витрат для кожної чарунки. Створення поверхні витрат виконується аналітичними засобами, які розглянуті в розділі 2.5.3.2 "Функції розповсюдження" цього посібника.

Поверхню витрат можна створити на підставі одного чи кількох факторів.

Для створення шару витрат, заснованого на одному факторі, необхідно перекласифікувати (Reclassifying) наявний шар, ґрунтуючись на значеннях ключової характеристики. Наприклад, для створення шару витрат визначаються витрати на метр будівництва дороги, ґрунтуючись на характері рослинного покриву (наприклад, 0,50 грн за метр по лузі, 0,75 грн по чагарнику, 1,25 грн лісу і так далі), на підставі значень яких перекласифікує покриття землі.

Щоб створити шар витрат, заснований на декількох факторах, необхідно комбінувати всі шари вихідних параметрів.

Наприклад, розглянемо аналіз оточення, заснований на декількох факторах, необхідний при виборі відповідного місця для нової школи [14]. Для створення поверхні витрат створено три шари: ухилів (Slope output map), відстаней від рекреації (Distance from recreation sites map), відстаней від існуючих шкіл (Distance from schools map).

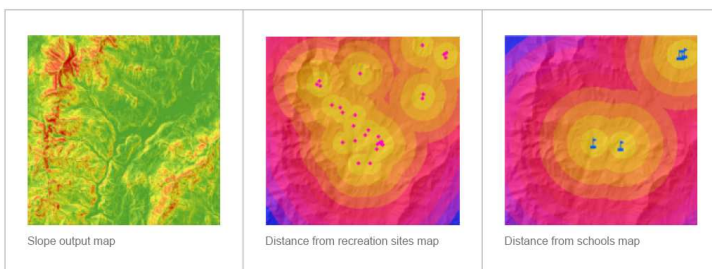
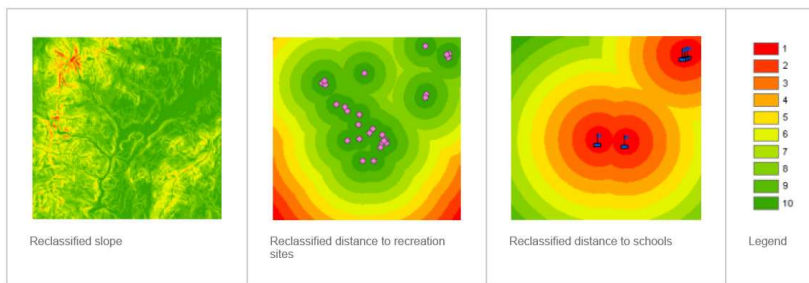


Рис. 11.6.2 – Вихідні шари а) ухилів, б) відстаней від рекреації, в) відстаней від школи [14]

Потім для спільного використання необхідно привести їх до єдиної шкалою шляхом перекласифікації за загальною для всіх відносною шкалою зміни величин. Така загальна шкала з діапазоном 1 –10 визначає придатність кожного місця (кожної чарунки) для будівництва нової школи.

- Нову школу переважно будують на відносно рівній ділянці. Шар ухилу (Slope) слід перекласифікувати, задавши значення "10" найбільш придатним осередкам (з мінімальним кутом ухилу), а "1" – найменш придатним осередкам (з максимальним кутом ухилу).
- Нову школу зазвичай будують поблизу зон відпочинку. Цей набір даних слід перекласифікувати, задавши значення "10" чарункам, найближчим до зон відпочинку (найбільш придатним), а значення "1" – найбільш віддаленим від зон відпочинку чарункам (найменш придатним), і розподіливши інші значення між ними.
- Нову школу зазвичай будують подалі від існуючих шкіл, щоб уникнути накладення їхніх зон охоплення. Шар відстані до шкіл слід перекласифікувати, задавши значення "10" найбільш віддаленим від шкіл чарункам (найбільш придатним), а значення "1" – чарункам, найближчим до шкіл (найменш придатним), і розподіливши інші значення між ними.



а)

б)

в)

Рис. 11.6.3 – Вихідні шари, приведені до єдиної шкали шляхом перекласифікації [14]

Наступною дією у створенні поверхні витрат є об'єднання приведених до загальної шкали растрів. При рівному впливі вихідних наборів даних на результат виконують просте додавання растрів. При різному впливі вихідних наборів даних на результат виконують зважене складання растрів.

11.6.4.2 Розрахунок витрат на переміщення

Використовуючи поверхню витрат, функція "Витратна відстань" (Cost distance), розглянута в розділі 10.2 цього посібника, підсумовує витрати при проходженні кожної наступної комірки від джерела і присвоює сукупні витрати осередку нового шару. Кожній чарунці присвоєна вартість у відповідних одиницях виміру. Якщо розмір чарунки вимірюється в метрах, а час поїздки – в секундах, витрати для чарунки будуть виміряні в секундах на метр. ГІС розраховує витрати від чарунки-джерела до центру чарунки, отже, витрати на переміщення від однієї чарунки до іншої – це сума витрат на кожную, помножена на половину розміру чарунки.

Наприклад, якщо сторона чарунки дорівнює 50 м, і одна чарунка має величину витрат 1 секунда на метр, а сусідня – 10 секунд на метр, час на поїздку між двома осередками розраховується так:

$$(1 \text{ с / м} * (50 \text{ м} / 2)) + (10 \text{ с / м} * (50 \text{ м} / 2)) = 275 \text{ с.}$$

Якщо переміщення діагональне, вводиться поправочний коефіцієнт $1,41 = \sqrt{2}$, таким чином, витрати відповідно зростуть у 1,41 разів. Наприклад, 50 м стануть 70, а час у дорозі між осередками збільшиться до 385 секунд. Розраховане значення присвоюється всій площі осередку.

Таким чином, чим більше чарунка, тим менш точно отримані значення характеризують місця, розташовані на її краях. Зменшення розмірів чарунки хоча і збільшує точність карти, вимагає більше часу на обробку даних і місця для зберігання растрових шарів.

11.6.4.3 Модифікація поверхні витрат

Аналітик може регулювати межі області аналізу, обмежуючи максимально допустимі витрати або призначаючи бар'єри.

Призначення максимально допустимих витрат

Аналітик може обмежити область дистанційного аналізу шляхом обмеження величини максимально допустимих витрат. У цьому випадку ГІС припинить розрахунок, коли всі чарунки в межах заданого значення витрат отримають свої розрахункові характеристики. Чарунки, що залишилися, в розрахунок включені не будуть. Якщо не визначені спеціально максимально допустимі витрати, ГІС буде розраховувати значення для всіх чарунок області, що вивчається.

Використання бар'єрів

Перешкоди, що обмежують здатність рухатися по прямій, в дистанційному аналізі визначаються як бар'єри. Розрізняють головні типи бар'єрів:

- абсолютні бар'єри, рух через які принципово неможливий (забудови, огорожі, річки без моста, болота, скелі і т.п.);
- умовні бар'єри, рух через які умовно неможливий. Наприклад, те, що для легкового автомобіля є бар'єром, для всюдихода – нормальна дорога. Вони є особливим випадком фрикційної (з урахуванням опору) відстані або поверхні. Умовний бар'єр може бути точкою на відрізку шляху, лінією, яка перетинає рух по поверхні, або полігональним об'єктом.

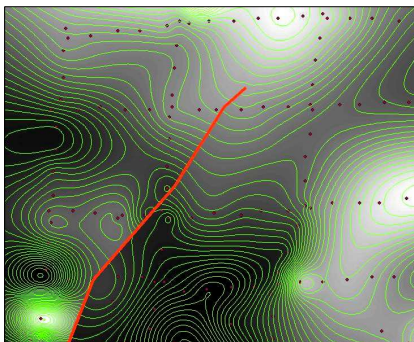


Рис. 11.6.4 – Умовний бар'єр

Аналітик так само може заблокувати привласнення значень витрат в певних областях. Наприклад, можна вказати, що певні ділянки непридатні для поїздок. З цією метою створюється шар-маска, в якому будь-яким "непрохідним" чарункам присвоюється або свідомо високе значення, або ніякого зовсім. Всі інші чарунки повинні мати реальні значення (зазвичай або 1, або 0). ГІС не включить "непрохідні" чарунки в розрахунок сукупних витрат. Наприклад, якщо підставою для розрахунку витрат слугує різниця типів рослинного покриву областей, вкритих лісом, потрібно скласти маскувальний шар земель, де немає лісу, якими проїзд заборонено. ГІС враховує додаткові витрати на обхід маскованих областей.

11.7 ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПІДГОТОВКИ

- 1) Які типи завдань вирішуються при аналізі місця розташування?
- 2) Наведіть характеристики типів географічних об'єктів.
- 3) Наведіть характеристики точкових об'єктів високого рівня.
- 4) Наведіть характеристики лінійних об'єктів високого рівня.
- 5) Наведіть характеристики полігональних об'єктів високого рівня.
- 6) У чому полягає аналіз форми лінійних об'єктів?
- 7) Перерахуйте основні задачі аналізу форми полігонів і приведіть їх характеристики.
- 8) Опишіть типи атрибутивних даних.
- 9) Які завдання вирішуються при візуальному аналізі карти?
- 10) У чому полягає сутність передачі інформації картою?
- 11) Перерахуйте основні засоби 2D символізації даних на карті та поясніть, у яких випадках вони застосовуються.
- 12) У чому полягає перевага 3D візуалізації даних в порівнянні з 2D візуалізацією?
- 13) Наведіть загальні характеристики геометричних, реалістичних і віртуальних 3D моделей географічних об'єктів.
- 14) Наведіть загальний опис програмних засобів 3D символізації.
- 15) У чому полягає аналіз кількісних даних місцеположення?
- 16) Як виконати моделювання щільності дискретними областями?
- 17) Як створити поверхню щільності простим методом і методом ядра?
- 18) Які параметри необхідно враховувати при розрахунку щільності поверхні?
- 19) Що розуміється під аналізом оточення? Які використовуються заходи віддаленості при аналізі оточення?
- 20) Які існують способи вимірювання віддаленості?
- 21) Опишіть три способи аналізу оточення з використанням відстані по прямій лінії.
- 22) Опишіть аналіз оточення з використанням витрат по мережі.
- 23) Опишіть аналіз оточення з використанням витрат по поверхні.

12. ПОШУК МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ, ЯКЕ ЗАДОВОЛЬНЯЄ ПРОСТОРОВИМ УМОВАМ

12.1 РОЗУМІННЯ МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ, ЯКЕ ЗАДОВОЛЬНЯЄ ПРОСТОРОВИМ УМОВАМ

Друга категорія задач просторового аналізу відповідає просторовому запиту: *де знаходиться місце розташування, яке задовольняє конкретним просторовим умовам* (Condition: Where is it?).

Наприклад, користувач бажає знайти округи, що відповідають певному набору умов. Досліднику потрібно визначити, які області найбільше підходять для підтримки певних видів тварин. Біолог має намір скласти карту із зазначенням районів з окремими видами рослинності, при чому певного розміру й на заданій відстані від рекреації. ГІС призначена для обробки таких запитів в простій і швидкій формі.

Вирішення задач цієї категорії вимагає виконання відповідного просторового аналізу. Існує два підходи [37] до пошуку місця розташування, що задовольняє просторовим умовам.

Один підхід полягає в побудові просторових запитів (Spatial Query) до даних для ідентифікації місця розташування, що відповідає встановлюваним критеріям у діалоговому вікні спеціалізованого інструмента.

Інший підхід полягає у виробництві даних шляхом комбінування розвинених аналітичних засобів геопроесування (Combine Set Queries) і розширень програмного продукту ГІС. При цьому підході пошук місця розташування отримує розширені можливості. Наприклад, необхідна карта, яка ілюструє відповідні місця розташування для зимового скелелазіння, може бути отримана на основі відстані від кожного табору і крутих південних схилів і аналітичних засобів розширення Spatial Analyst.

Вирішення задачі пошуку місця розташування шляхом комбінування розвинених аналітичних засобів геопроесування й розширень програмного продукту ГІС має специфіку в кожному з трьох типів представлення простору:

- дискретна модель простору;
- безперервна модель простору;
- модель простору, що базується на мережі.

12.2 ПОШУК МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ШЛЯХОМ ПОБУДОВИ ЗАПИТУ

Для вирішення завдання цієї категорії формуються прості або комплексні запити.

Простий запит на місцеположення об'єкта складається з однієї умови. Для отримання відповіді досить виконати одну штатну операцію.

Комплексний запит на місцеположення об'єкта може включати певний набір умов. Для отримання відповіді вже потрібне використання низки операцій просторового аналізу. Наприклад, а) де розташований майданчик для будівництва площею 2 га в межах до 200 м від дороги районного значення з ґрунтами несучої здатності до 1 кг на кв.см? б) обґрунтувати місце розташування торговельного, навчального закладу або бізнес-центру з урахуванням багатьох, у т. ч. просторових чинників; в) знайти оптимальну трасу трубопроводу або шляховоду, який проектується; г) визначити всі вільні ділянки, розмір яких перевищує 0,05 га, у 500 м від асфальтованої дороги.

Геоінформаційні системи мають спеціалізовані інструменти, які вирішують завдання пошуку місця розташування, що задовольняє просторовим умовам, за допомогою використання запитів. Запити формуються в діалоговому вікні спеціалізованого інструмента. Спеціалізовані інструменти різняться в кожному програмному забезпеченні ГІС за об'єктами пошуку, заданим параметрам пошуку. У прикладі далі наводиться загальна характеристика спеціалізованих інструментів системи ArcGIS.

Пошук місця розташування на карті за координатами

Інструмент Go to XY Tool (Перейти до координат X, Y) дозволяє знайти точку на карті за координатами, уведеними у діалоговому вікні інструмента. Координати точки можна отримати інструментом Identify, указавши курсором точку на карті.

Пошук місця розташування на карті за адресами або назвами місць

Інструмент Find Tool (Знайти) дозволяє знайти місце розташування географічного об'єкта на карті, використовуючи текстовий рядок атрибутивних значень, наприклад, значення адрес (Addresses), або назви місць (Locations), або позицію на маршруті в лінійній системі координат (Linear Referencing). Наприклад, знайти об'єкт за адресою Садова, 17. Альтернатива цього інструмента може

стати панель інструментів Геокодування (Geocoding) для пошуку за адресами.

Пошук місця розташування маршруту на карті

Інструмент Find Rout (Знайти маршрут) дозволяє знайти маршрут між зупинками з урахуванням бар'єрів, дозволених напрямків руху, швидкості руху, імпедансу.

Пошук за місцем розташування

Інструмент Select By Location (Вибір за місцем розташування) дозволяє вибрати (знайти) об'єкти за їхнім просторовим відношенням щодо інших об'єктів. Наприклад, якщо задача полягає в пошуку будинків, підтоплених цим розливом, необхідно вибрати всі будинки, які потрапили всередину меж розливу. Запит формується на основі просторових відношень:

- "Intersect" (перетинають) – знайти будь-які цільові об'єкти, які повністю або частково накладаються на об'єкти-джерела;
- "Are within distance of" (розташовані усередині дистанції від) – знайти всі об'єкти, що перетинають буферну зону заданої ширини;
- "Are within" (розташовані усередині) – знайти всі цільові об'єкти, геометрія яких розташована повністю всередині геометрії об'єктів джерел;
- "Are completely within" (розташовані повністю всередині) – знайти всі цільові об'єкти, усі частини яких потрапляють всередину геометрії об'єкта-джерела і не торкаються меж джерела;
- "Contain" (уміщують) – знайти цільові об'єкти, для яких геометрія об'єктів-джерел розташована повністю всередині геометрії цільових об'єктів, включаючи їхні межі;
- "Completely contain" (повністю вміщують) – знайти всі цільові об'єкти, усі частини яких мають повністю включати геометрії об'єкта-джерела;
- "Have their centroid in" (мають їхній центроїд у) – знайти всі цільові об'єкти, якщо центроїд їхню геометрії потрапляє в геометрію об'єкта-джерела або на його межі;
- "Share a line segment with" (мають спільні лінійні сегменти з) – знайти всі цільові об'єкти, для яких є загальні лінійні сегменти з об'єктами-джерелами, якщо їхні геометрії мають щонайменше дві суміжні вершини загалом;
- "Touch the boundary of" (торкаються меж від) – знайти всі цільові об'єкти, якщо перетин їхньої геометрії з об'єктами-джерелами не порожній, але перетин їхніх внутрішніх частин порожній;

- "Are identical to" (тобто ідентичними до) – знайти всі цільові об'єкти, геометрія яких точно дорівнює геометрії об'єктом-джерел;
- "Are crossed by the outline of" (перетинаються контуром від) – знайти всі цільові об'єкти, межі яких і межі об'єктів джерел мусять мати щонайменше одну сторону, вершину або кінцеву точку в загалом, але не мусять мати спільних сегментів;
- "Contain (Clementini)" (вміщують (Клементині)) – знайти всі цільові об'єкти, для яких геометрія об'єктів-джерел розташована повністю всередині геометрії цільових об'єктів, виключаючи випадки, коли об'єкти-джерела повністю розташовані на кордонах цільових об'єктів і коли частина об'єкта-джерела розташовані всередині цільового об'єкта;
- "Are Within (Clementini)" (перебувають усередині (Клементині)) – знайти всі цільові об'єкти, геометрія яких розташовані повністю всередині геометрії об'єктів джерел, виключаючи цільові об'єкти, розташовані повністю на межах об'єкта-джерела, і частину цільових об'єктів всередині об'єктів джерел.

Пошук за атрибутами

Один із методів пошуку місця розташування об'єктів заснований на використанні запиту за атрибутами. Це метод реалізується інструментом Select By Attributes (Вибір за атрибутами), який забезпечує формування умов пошуку у формі запитів на мові структурованих запитів (Structured Query Language - SQL). Пошук об'єктів виконується у визначеному шарі. Вираз запиту створюється на підставі загального синтаксису SQL.

Простий запит використовується для однієї умови. Він оформлюється простим виразом, який містить послідовно 1) назву атрибута, 2) оператор обчислення арифметичний (+, -, *, /) або порівняння (=, <,>,>=, <=, <=, Like), 3) значення атрибута. Наприклад, умова "де є земельні ділянки з площею меншою 0,05 га" трансформується у вираз запиту: "Площа" <0,05.

Комплексний запит будується з використанням більше, ніж одного критерію. Він оформляється у вигляді комбінованого виразу, який містить послідовно 1) прості вирази для кожної умови, 2) логічні оператори (And, Or, Not) між простими виразами. Наприклад, запит "де є земельні ділянки з площею менше 0,05 га і тип використання земель – житлова забудова" містить два вирази з логічним оператором:

"Площа" <0,05 And "тип" = 'житлова забудова'.

12.3 ПОШУК МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ШЛЯХОМ КОМБІНУВАННЯ АНАЛІТИЧНИХ ЗАСОБІВ

12.3.1 Пошук місця розташування в дискретній моделі простору

У дискретній моделі простору географічні об'єкти представляються векторними моделями. Пошук розташування, що задовольняє певним просторовим умовам, у дискретній моделі простору можливий за допомогою найбільш часто використовуваних векторних інструментів оверлейного аналізу (Overlay analysis) й аналізу близькості (Proximity analysis).

12.3.1.1 Пошук місця розташування векторними інструментами оверлейного аналізу

Пошук місця розташування, яке задовольняє просторовим умовам, в ArcGIS можна знайти шляхом комбінування накладань просторових об'єктів одних шарів на просторові об'єкти інших шарів. Накладання шарів просторових об'єктів має на меті отримати відповідь на питання – "Що накладається на щось" (What's on top of what?).

Векторні інструменти оверлейних операцій

При накладенні шарів найбільш часто використовуються векторні інструменти оверлейних операцій: Erase (Стирання), Identity (Ідентичність), Intersect (Перетин), Spatial Join (Просторове з'єднання), Symmetrical Difference (Симетрична різниця), Union (Об'єднання), Update (Оновлення); (див. розділ 8.3 цього навчального посібника).

Особливості накладення областей на дискретні об'єкти

Метод накладання шарів з використанням оверлейних функцій дозволяє знайти дискретні об'єкти, які потрапляють всередину заданих областей для того, щоб підсумувати їхні значення, обчислити частку кожної категорії або класу серед усіх областей або узагальнити безперервні величини всередині однієї або декількох областей. [3].

Програмне забезпечення ГІС розділяє категорії або встановлює межі класу шляхом перетину областей, які зіставляються, і створення нового набору даних. ГІС оцінює місце розташування об'єкта і співвідносить кожен об'єкт з кодом області, у яку той потрапляє, і привласнює його у вигляді атрибута кожному об'єкту. Якщо лінія або площинний об'єкт потрапляють одразу в кілька областей, ГІС розділяє такий об'єкт за межі перетину, створюючи нові об'єкти в новому наборі даних. Кожен новий об'єкт має ті ж атрибути області, що й вихідний. Таким чином, можна отримати перелік об'єктів або суму атрибутів, що мають загальний код області. Оскільки атрибути зберігаються в таблиці даних об'єкта, можна робити будь-яку кількість узагальнень або селекувати місце із заданими властивостями.

Коли області накладаються на області, у місцях невеликих зсувів меж часто виникають дуже маленькі полігони, що називаються паразитними. Щоб спростити і прискорити подальші обчислення необхідно злити їх з однією із сусідніх великих областей. ГІС володіють інструментальними засобами автоматизації цього процесу. Які полігони можна вважати паразитними залежить від ваших даних. Краще при цьому скористатися наступними рекомендаціями.

- Будь-який полігон з площею меншою, ніж найменша область в будь-якому вихідному наборі даних (що називається "мінімальною одиницею картографування") має розглядатися як потенційний паразитний полігон. Мінімальна одиниця картографування – це найменша область, яка може бути ідентифікована як унікальна область на поверхні землі (для цього масштабу досліджень). Будь-яка область, що має ще менші розміри, не приймається в розрахунок.
- Оцініть точність наявних даних. Якщо знаєте, що межа проведена з точністю до 10 м, то область, отримана внаслідок накладання і має ширину 8 м, швидше за все, не може прийматися в розрахунок.
- Оптимальним є підхід, за якого спочатку автоматично видаляються очевидні маленькі ділянки, потім вручну перевіряються ті, що залишилися й викликають підозри невеликими розмірами. Ви можете використовувати ГІС для їхнього автоматичного усунення або видалити їх вручну.

Використання результатів

Якщо накладається тільки одна область, можна скористатися тим же видом аналізу, який застосовувався б при просторовому запиті. У деяких випадках для ліній або областей можна отримати в підсумку

лише частину об'єкта, що потрапляє в область. Наприклад, можна обчислити довжину шляху тільки в межах державного парку або відсоток від площі кожної ділянки, що потрапляє в зону затоплення.

Якщо накладаються декілька областей на велику кількість об'єктів, є можливість узагальнити об'єкти за областями. Наприклад, необхідно дізнатися розподіл продовольчих магазинів на душу населення в кожному районі. У цьому випадку спочатку додасте записи до таблиці даних, що мають загальний код району. Потім приєднуєте ці значення до нового поля атрибутивної таблиці районів, попередньо розділивши його на кількість жителів у кожному районі. Можна також підсумовувати дані за категоріями, щоб оцінити, наприклад, кількість підприємств кожного типу в кожному районі або загальну кількість службовців на квадратний кілометр.

Якщо накладається область на дані, агреговані за площею (наприклад, накладення площі затоплення на райони), необхідно впевнитися, що райони, за якими узагальнені дані, повністю потрапляють у зону затоплення. В іншому випадку можна допустити помилку, взявши в розрахунок величину, отриману за всім районом стосовно його частини. Припустимо, що 50 відсотків досліджуваного району розташовані всередині площі затоплення. Арифметичне ділення кількості населення на 2 не може гарантувати правильного результату, оскільки більша частина людей може жити якраз у незатопленій частині району.

12.3.1.2 Пошук місця розташування векторними інструментами аналізу близькості

У дискретної моделі простору пошук певного місцеположення можливий за допомогою найбільш часто використовуваних інструментів аналізу близькості (Proximity analysis). *Аналіз близькості* – це просторово-аналітична операція, заснована на пошуку двох найближчих точок серед заданої їхньої безлічі й використовувана в різних алгоритмах просторового аналізу.

Використання інструментів аналізу близькості дозволяє отримати відповідь на одне з головних питань ГІС – "що розташовано поруч з певним об'єктом?" (What's near what?). Інструменти аналізу близькості базуються на геометричній дистанції. Вони генерують буферні зони (Buffer Zone) або полігони Тіссена (Thiessen Polygon) (див. розділ 2.5.2).

До задачі пошуку місця розташування, що задовольняє просторовим умовам, віднесено також задача пошуку околу об'єктів. Тут окіл розглядається як місце, частина покриття.

Використання буферних зон

Буферні зони зазвичай використовуються для позначення охоронних зон навколо просторових об'єктів або для показу сфер впливу. Наприклад, можна генерувати двохкілометровий буфер довкола школи й використовувати його для вибору дітей шкільного віку, які проживають у буферній зоні, з метою організації доставки школярів до школи. Можна використовувати концентричні буфери для класифікації території на зони ближні, середньої дальності й віддалені. Буфери іноді використовуються, щоб обрізати дані досліджуваної області або виключити об'єкти в межах критичної відстані від певного об'єкта з подальшого розгляду в аналізі.

Використання полігонів Тіссена-Вороного

Шляхом генерування полігонів Тіссена (Thiessen polygon generation) можна вирішити задачу поділу покриття на околу заданих точкових об'єктів. Для мережі точкових об'єктів полігони будуються за умови, що для будь-якої позиції в межах полігонів відстань до центрального точкового об'єкта завжди менша, ніж до будь-якого іншого об'єкта мережі.

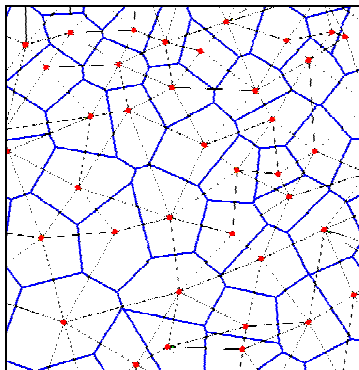


Рис. 12.3.1 – Полігони Тіссена

Особливості генерування полігонів Тіссена-Вороного

Побудова полігонів Тіссена-Вороного на практиці є однією з основних операцій, які поділяють територію, яка розглядається, на сукупність районів, що визначають просторові асоціації й узасмодії. Цей вид аналізу широко використовується для розподілу поверхні на основі визначених користувачем критеріїв і атрибутів. Безумовною перевагою методу є його простота та доступність реалізації практично в усіх ГІС-пакетах із розвиненими аналітичними можливостями.

Однак, побудований просторовий розподіл не є плавним, оскільки має місце стрибкоподібна зміна значень змінної на межах полігонів, що суперечить його дійсній безперервній зміні у просторі (наприклад, атмосферні опади, температури повітря, концентрації забруднювачів та ін.). У зв'язку з тим, що є тільки одна точка вимірювань або спостережень на полігоні, при використанні цього методу немає можливості оцінки внутрішньої мінливості змінної.

Полігони Тіссена-Вороного ділять територію способом, який повністю визначається конфігурацією мережі точок вимірювань. Якщо точки лежать на регулярній мережі, полігони Тіссена-Вороного всі дорівнюють один одному, а розмір полігона тотожний розміру елемента регулярної мережі. Якщо точки розташовані нерегулярно у просторі, то полігони Тіссена-Вороного різняться за розміром.

Характер змодельованого просторового розподілу значною мірою залежить від просторового розміщення вузлів мережі. У зв'язку з цим метод рекомендується для інтерполяції точкових значень при а) відносно невеликому діапазоні змін певної змінної, б) просторової однорідності умов формування її поля.

Полігони Тіссена-Вороного часто використовуються в географічному аналізі як швидкий спосіб поширення точкових даних у просторі.

Приклади застосування полігонів Тіссена

Одним із перших застосувань полігонів Тіссена-Вороного було в дослідженнях у галузі епідеміології Джона Сноу. У 1854 в районі Сохо (Англія) був спалах холери. Дослідження Сноу на карті Лондона показали, що більшість людей, які померли в Сохо від епідемії холери, жили ближче до інфікованого водяного насосу (водорозбірної колонки), ніж до будь-якого іншого насосу [38].

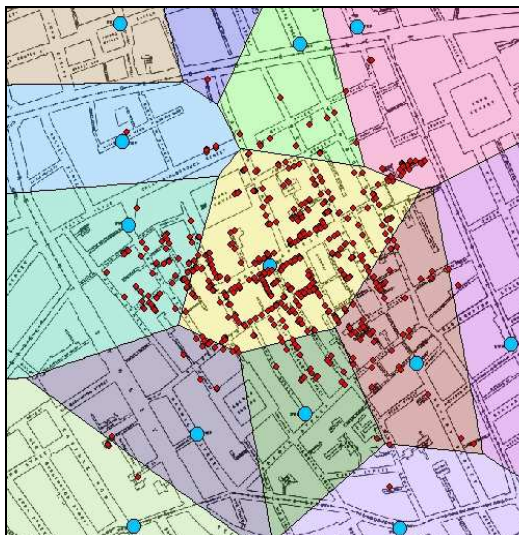


Рис. 12.3.2 – Просторовий аналіз епідемії холери в Сохо з використанням полігонів Тіссена [38]

У якості прикладу можна також навести задачу визначення ареалів поширення даних спостережень на мережі метеорологічних станцій, нерівномірно розташованих у межах певної території. При залученні полігонів Тіссена надають дані про погоду, зібрані на метеостанції в центрі ваги, і припускають, що погода така ж на всьому полігоні. Це припущення є адекватним, якщо в наявності є достатня кількість спільних метеорологічних станцій і полігони доволі незначні, щоб описати погодне явище ефективно.

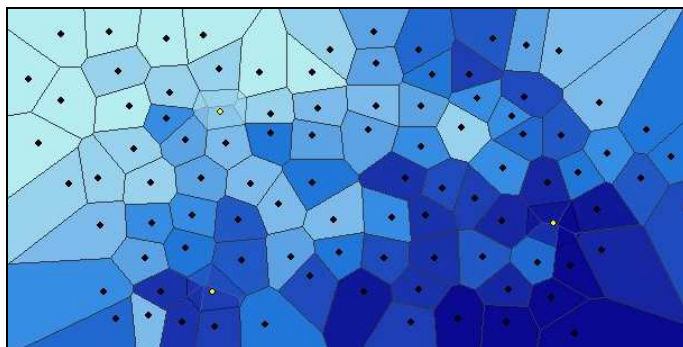


Рис. 12.3.3 – Дослідження кількостей атмосферних опадів [39]

Полігони Тіссена можна використовувати для обчислення середньої лінії між двома країнами або островами. На рис. 12.3.4 наведено приклад розрахунку морського кордону в західній частині Англійського каналу.

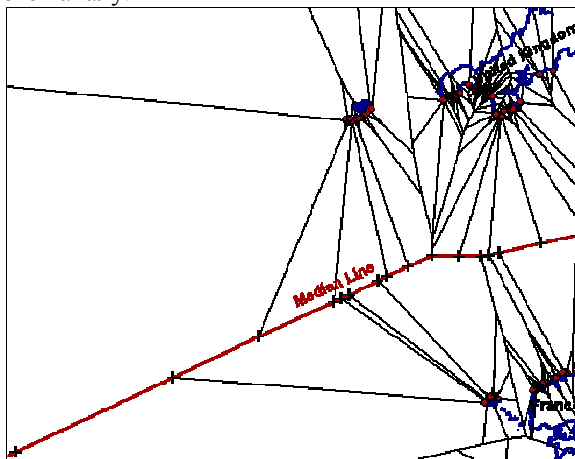


Рис. 12.3.4 – Середина лінія Англійського каналу, побудована з використанням полігонів Тіссена [40]

Полігони Тіссена використовуються також для вивчення моделей росту лісів і прогнозування лісових пожеж, у гірській промисловості – для оцінки запасів коштовних матеріалів, мінералів та інших ресурсів на основі пошукових свердловин, для пошуку місць розміщення центрів тяжіння, наприклад, торгового центру тощо.

12.3.2 Пошук місця розташування в безперервній моделі простору

Низка задач пошуку місця розташування вважають простір безперервним. У безперервній моделі простору безперервні явища, або поля, становлять растрові моделі. Одна або кілька координат, які безперервно змінюються, визначають усі можливі розташування місць. Ці безперервні місцезположення зазвичай розглядаються в евклідовому просторі. Безперервні моделі простору іноді називають моделями генерування місць. Оскільки немає презумпції потенційних місць для моделі, відповідне генерування місць втілює вихід моделі.

12.3.2.1 Пошук місця розташування растровими інструментами оверлейного аналізу

Растрові оверлейні оператори

Пошук місця розташування, яке задовольняє просторовим умовам, в ArcGIS можна знайти шляхом комбінування накладань просторових об'єктів одних шарів на просторові об'єкти інших шарів і використання растрових оверлейних операцій. Комбінування значень характеристик місцеположення, одержуваних із двох шарів, виконується в калькуляторі растрів (Raster Calculator). Він дозволяє обчислити нові растри на підставі існуючих, використовуючи низку функцій і операторів. Вираз обчислення растра в калькуляторі растрів (див. пункт 8.4) може включати:

- арифметичні оператори (Arithmetic operators) +, -, *, /;
- тригонометричні оператори sin, cos, tan, asin, acos, atan;
- оператори порівняння (Comparison operators) <, <=, =, >=, >, <>;
- логічні оператори (Logical operators) AND, OR, NOT, XOR;
- умовні вирази (Conditional expressions);
- комплексні вирази.

Оверлей декількох растрів використовує загальний масштаб вимірів і ваг відповідно до важливості.

Накладання областей на безперервні категорії або класи даних

Реалізація растрового оверлейного методу

Програмне забезпечення ГІС дає можливість використовувати растровий метод для накладання областей на безперервні категорії або класи даних. При накладанні растрових шарів програмне забезпечення ГІС зіставляє кожну чарунку аналізованої області з відповідною чарункою шару, що містить категорії. Значення чарунок обчислюються в калькуляторі растрів відповідно до заданих виразом обчислення. Потім підраховується кількість чарунок кожної категорії всередині кожної області, обчислюється площа отриманих елементів шляхом множення кількості чарунок на їхню площу; результати зводяться до таблиці.

Використання результатів

Щоб побачити та проаналізувати результати зіставлення необхідно внести в таблицю перелік величин площ кожного класу, що потрапляють всередину кожної області.

Щоб отримувати узагальнене значення кожного класу в кожній області необхідно підсумовувати значення елементів цього класу для кожної області. Можна зробити це, використовуючи код області або класу, а також призначивши поле для підсумовування площі. Наприклад, ви визначили назву річкового басейну та код рослинності як ідентифікатори, а поле площі призначили для підсумовування. Як наслідок отримаєте перелік кожної унікальної комбінації річкового басейну й типу рослинності з підрахованою площею території, на якій вона зустрічається. Потім результат можна перетворити на файл, який має один рядок для кожної області та стовпчик для значень кожного класу.

У разі зіставлення областей різного розміру важливо обчислити відсоток потрапляння кожного класу в межі кожної області, щоб порівнювати області на основі відносних величин. Наприклад, ви хочете порівняти річкові басейни за ступенем заліснення. Щоб зробити це, додайте нове поле до наявного поля класу в таблиці й обчисліть шукане значення, розділивши площу, займану кожним класом у межах цієї області на загальну площу області.

Якщо аналізу підлягає шар з безперервними значеннями величини, наприклад, поверхня рельєфу, програма може підсумовувати значення й відобразити на карті або в таблиці підсумкову статистику для кожної області. Мова йде про підрахунок середнього і граничних значень, різниці між мінімальним і максимальним значеннями, середньо квадратичного відхилення та суми. Наприклад, програма може підрахувати середнє перевищення рельєфу всередині кожного річкового басейну, визначивши разом із цим мінімальне та максимальне перевищення, діапазон їхньої зміни і стандартне відхилення. Таким чином, готується матеріал для зіставлення досліджуваних річкових басейнів. Програмне забезпечення ГІС, як і в попередніх випадках, спочатку визначає чарунки, що потрапили в кожну область. Після ідентифікації прораховує статистику розподілу досліджуваної величини і присвоює відповідне значення кожній чарунці раstra. Той же процес виконується і в інших областях.

Порівняння векторного та растрового підходів

Векторне відображення забезпечує більш високу точність вимірювання площі, але вимагає більшого часу для попередньої підготовки й подальшої обробки, що полягає в усуненні паразитних полігонів і визначенні значення кожного класу в кожній області.

Растровий метод у цьому випадку більш ефективний, оскільки площі визначає автоматично, хоча і з точністю, сумірною з розміром чарунки. Маленький розмір чарунки дає більш точні результати, але вимагає великих витрат дискового простору й обчислювальних ресурсів. При зіставленні растра зникає проблема оцінки паразитних полігонів, що також прискорює і спрощує процес аналізу в ГІС. Оскільки растрові методи часто бувають більш ефективні для отримання кінцевого результату, деяке програмне забезпечення ГІС надає можливість швидкого перетворення векторних даних на растрові й навпаки.

12.3.2.2 Пошук місця розташування растровими інструментами аналізу близькості

У деяких випадках задача визначення місцеположення, що задовольняє просторовим умовам, можна вирішити засобами аналізу близькості в безперервній моделі простору.

У ГІС растрового типу *аналіз близькості* - це присвоєння елементу растра нового значення як деякої функції значень навколишніх елементів. Інструменти аналізу близькості створюють растри, що показують відстань (Distance) кожного чарунки від набору просторових об'єктів або розподіл (Allocation) кожного чарунки до найближчого просторового об'єкта. Інструментами аналізу близькості можна також розрахувати найкоротший шлях по поверхні або коридор між двома місцями, що зводить до мінімуму дві групи витрат.

Дистанційний аналіз

Для дистанційного аналізу (Distance analysis) в ArcGIS є потужний набір аналітичних засобів. У ньому використовуються дві міри визначення відстаней – евклідова відстань (Euclidean Distance) і витратна відстань (Cost Distance).

Евклідова відстань

Евклідова відстань – прямолінійна відстань, або відстань, що вимірюється "по прямій". Для даного набору об'єктів мінімальна відстань до об'єкта розраховується для кожної чарунки. Для кожної чарунки вихідного растра інструмент Euclidean Distance обчислює відстань до найближчого джерела.



Рис. 12.3.5 – Вихідний растр інструмента Евклідова відстань [14]

Наприклад, на рис. 12.3.5 вихідний растр становить дистанційну поверхню, де кожна його чарунка має відстань до найближчої річки. Можна використовувати евклідову відстань як частину моделі лісових пожеж, де ймовірність цієї чарунки займання є функцією відстані від палаючої в цей час чарунки.

Витратна відстань

На відміну від інструмента Евклідова відстань, інструменти Витратна відстань (Cost Distance) дозволяють враховувати відстань, виражену у витратах (наприклад, витрата енергії, труднощі чи небезпека). Функція Витратна відстань (витратна зважена відстань) модифікує евклідову відстань, прирівнюючи відстань фактора витрат, що становить витрати на переміщення через певну задану чарунку.

Транспортні витрати можуть змінюватися залежно від рельєфу, типу шляхового покриття або інших чинників. Використовуючи функції витратної відстані можна створити растри відстаней і напрямків й обчислити шлях найменших витрат (або найкоротших) від вибраного призначення до джерела. Аналіз витратної відстані гарантує найдешевший маршрут (по відношенню до одиниць витрат, що визначаються вихідним растром витрат).

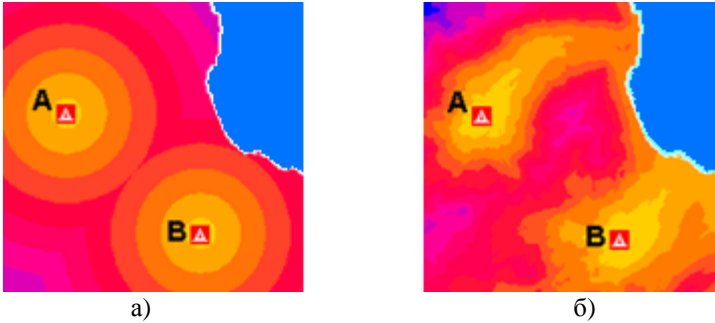


Рис. 12.3.6 – Порівняння растрів а) евклідова б) затратна відстань [14]

Прикладом застосування інструментів відстані є визначення шляху, який може бути коротшим, щоб піднятися вгору по прямій до місця призначення, фактично має бути легшим і, отже, довшим, щоб йти довкола неї.

Шляхова відстань

Інструмент Шляхова відстань (Path Distance), також відомий як функція зваженої відстані по поверхні, додає додаткові фактори, крім витрат поверхні. Наприклад, включення горизонтальних і вертикальних факторів поверхні для обліку фактичної відстані по місцевості, яка може бути довшою, ніж горизонтальна відстань, або більш високих витрат для переміщення вгору, ніж під гору. Два місця в довгій вузькій гірській долині можуть бути далі одне від одного, ніж одне з аналогічних місць у сусідній долині, але загальні витрати перетину місцевості можуть бути набагато нижчими, ніж через гори.

Різні чинники можуть сприяти досягненню цієї загальної вартості, наприклад:

- важче для переміщення кущами на схилі гори, ніж через луки в долині;
- важче рухатися проти вітру на схилі гори, ніж рухатися за вітром і ще простіше рухатися без вітру в долині;
- шлях через гори більший, ніж лінійна відстань між кінцевими точками шляху, через додаткові переміщення вгору і вниз;
- шлях, який іде горизонтально або розрізає навскіс крутий схил, може бути менш складним, ніж шлях прямо вгору або вниз за схилом.

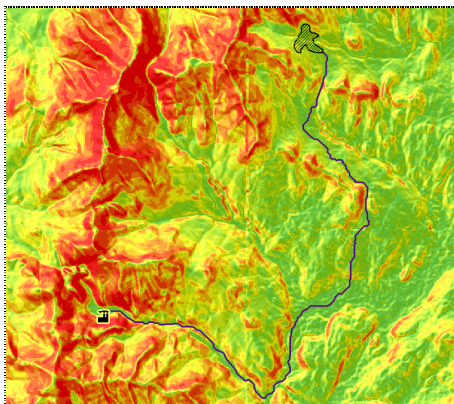


Рис. 12.3.7 – Просторова модель для розрахунку шляху найменших витрат між місцем вирубки лісу й найближчою лісопилкою [14]

Інструменти відстані шляху дозволяють моделювати такі складні проблеми, розбиваючи транспортні витрати на компоненти, які можуть бути зазначені окремо. До них належать растр витрат, растр висот, які використовуються для розрахунку тривалості переміщення по поверхні, додатковий растр горизонтальних факторів (наприклад, напрямків вітру), а також додатковий растр вертикальних факторів (таких, як растр висот). Крім того, ви можете контролювати те, як витрати на горизонтальні й вертикальні фактори залежать від напрямку руху відносно чинника растра.

Витратний шлях

Інструмент Витратний шлях (Cost Path) розраховує шлях найменших витрат від джерела до пункту призначення, мінімізуючи витрати, зазначені по поверхні витрат. Розрахунок накопичених (акумульованих) витрат на переміщення може надати багатий набір інформації для прийняття рішень. Наприклад, накопичені найменші витрати проїзду в межах 200 кілометрової зони дозволять вирахувати кількість обробних заводів, беручи до уваги перешкоди переміщення.

Коридор

Інструмент Коридор (Corridor) дистанційного аналізу дозволяє виконати пошук місця розташування (місця) за умов мінімуму накопичувальних витрат. Інструмент Corridor розраховує суму накопичувальних витрат на підставі двох вихідних растрів витрат. Чарунки вихідного растра, значення яких нижче заданого порогового

значення, визначають області, тобто коридор між джерелами, де два види витрат зведені до мінімуму.

Інструмент Коридор поєднує результати аналізу Витратна відстань для двох факторів. Результати можна рекласифікувати, щоб знайти області, де загальна витрачена сума була нижче певного рівня.

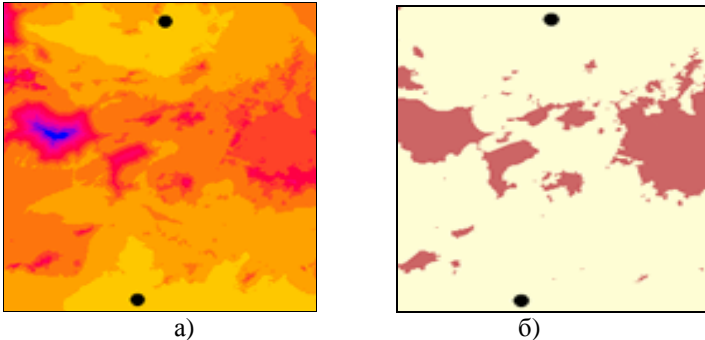


Рис. 12.3.8 – Приклад пошуку місця розташування за допомогою інструмент Corridor [14]

Наприклад, на підставі растрів двох факторів Використання земель та Ухили отримані відповідні растри витратних відстаней. За ним обчислюється вихідний растр коридору, де накопичувальні витрати нижче заданого порогового значення (рис. 12.3.8, а), і рекласифікується растр коридору (рис. 12.3.8, б).

Обчислювані таким шляхом області можуть бути привабливими як коридори для спільного використання двох факторів в управлінні використання земель, міському й регіональному плануванні, розвитку транспортної інфраструктури, вирішення проблем дикої природи й екосистем.

Аналіз розподілу

Засоби аналізу розподілу (Allocation analysis) дозволяють вирішити задачу визначення найближчого місця розташування на підставі евклідової відстані, витратної відстані, найменших акумулятивних витрат і витрат шляху по поверхні відносно джерела. Функції розподілу (Allocation function) викладені раніше в розділі 10.3.

Евклідовий розподіл

Евклідовий розподіл (Euclidean Allocation) обчислює для кожної чарунки найближче джерело на підставі евклідової відстані.

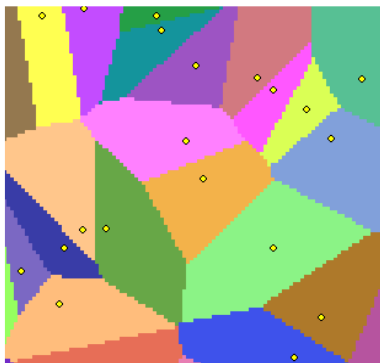


Рис. 12.3.9 – Растр розподілу, що становить найближчий об'єкт для кожного місця [14]

Витратний розподіл

Витратний розподіл (Cost allocation) обчислює для кожної чарунки її найближче джерело на підставі найменших акумулятивних витрат по поверхні. Растр розподілу ідентифікує чарунки або місця з обчисленими найменшими акумулятивними витратами від джерел.

Розподіл за витратними шляхами

Розподіл за витратними шляхами (Path Distance Allocation) обчислює найближче джерело для кожної чарунки на підставі найменших акумулятивних витрат по поверхні витрат з урахуванням відстані по поверхні, горизонтальних і вертикальних факторів витрат.

12.3.3 Пошук місця розташування в мережній моделі простору

12.3.3.1 Типи задач пошуку місця розташування в мережній моделі простору

Третій вид пошуку місця розташування заснований на мережній моделі простору. Задачі, які визначаються на мережах, можуть бути або безперервними або дискретними залежно від того, що розглядається для розміщення нових об'єктів – тільки вузли або зв'язки мережі як безперервний набір кандидатів місць.

Мережний простір залежить від підходу, що спирається на теорію графів. Основний граф може також мати різні структури (наприклад, спрямовані графи, неорієнтовані графи або дерева). У мережній моделі простору місцеположення становить векторні топологічні моделі пов'язаних елементів мережі – вузлів, дуг, маршрутів.

Прикладами використання мереж у задачі пошуку місця розташування можуть бути:

- розміщення одиниць швидкої допомоги в сільських районах для того, щоб гарантувати краще охоплення послугами охорони здоров'я;
- моделювання громадських шкільних округів;
- пошук оптимального міського маршруту;
- пошук найближчого автомобіля або об'єкта в надзвичайній ситуації;
- визначення зони обслуговування навколо місця;
- обслуговування набору замовлень для парку транспортних засобів;
- вибір кращих умов для відкриття або закриття маршрутів.

Розширення ArcGIS Network Analyst дозволяє вирішувати загальні мережні задачі:

- пошук оптимального маршруту (Route analysis);
- пошук найближчого об'єкта (Closest facility analysis);
- визначення зони обслуговування (Service area analysis);
- створення матриці витрат джерело-призначення (OD cost matrix analysis);
- маршрутизація парку транспортних засобів (Vehicle routing problem analysis);
- пошук розміщення-розподілу об'єктів (Location-Allocation analysis).

12.3.3.2 Пошук оптимального маршруту

Засіб пошуку оптимального маршруту (Route analysis) дозволяє знайти кращий шлях, щоб дістатися з одного місця до іншого або побувати в декількох місцях. Місця можуть бути визначені інтерактивно, шляхом розміщення точок на дисплеї, або введенням адреси, або з використанням точок в існуючому класі просторових об'єктів чи шарі просторових об'єктів. Якщо наявно більше ніж дві зупинки для відвідування, кращий маршрут можна визначити для порядку відвідування місць, указаних користувачем. Крім того, можна визначити кращу послідовність для відвідування місць.

Який шлях кращий? Незалежно від розташування простого маршруту між двома точками або того, який з'єднує декілька місць, люди зазвичай намагаються використати "кращий маршрут". Але "кращий шлях" може означати різні речі в різних ситуаціях. Кращий маршрут може бути найшвидшим, найкоротшим, наймальовничішим або бути обраним залежно від імпедансу (опору).

Імпеданс (Impedance) – міра кількості опору або витрати, необхідні для проходження шляху в мережі чи переміщення від одного елемента мережі до іншого. Опір може бути мірою відстані поїздки, часу, швидкості руху, помноженої на відстань і так далі. Більш високі значення імпедансу показують більший опір руху, а нульове значення вказує на відсутність опору. Оптимальний шлях у мережі – це шлях найменшого імпедансу, що називається також шляхом найменших витрат. Якщо імпеданс – час, то кращий шлях – найшвидший маршрут. Таким чином, кращий маршрут можна визначити як маршрут, який має самий низький імпеданс, де опір вибирається користувачем. Будь-який допустимий атрибут вартості мережі можна використати як опір при визначенні найкращого маршруту.

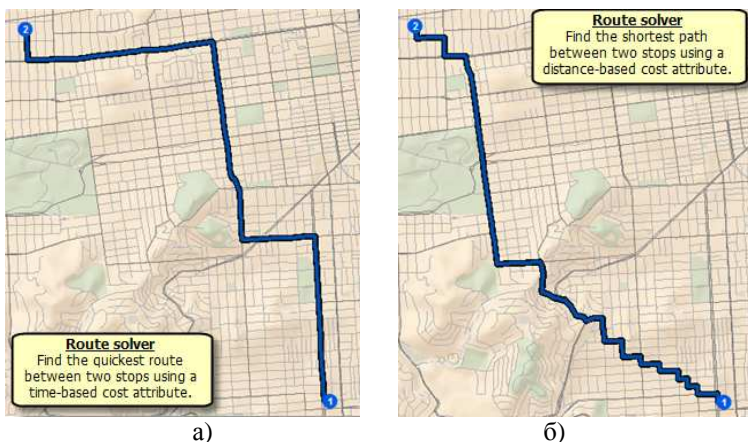


Рис. 12.3.10 – Ілюстрація різних заходів кількості опору [14]

Наприклад, на рис 12.3.10 у випадку а) використовується час як опір. Найшвидший шлях має загальну довжину 4,5 км, який займає 8 хвилин ходьби. У випадку б) у якості опору вибирається відстань. Отже, довжина найкоротшого шляху складає 4,4 км, яка займає 9 хвилин ходьби.

Поряд з кращим маршрутом, ArcGIS Network Analyst розраховує напрямки руху від повороту до повороту (шляхові листи), які можна надрукувати.

12.3.3.3 Пошук найближчого засобу обслуговування

Пошук найближчої лікарні внаслідок нещасного випадку, найближчих до місця злочину поліцейських автомобілів, найближчого до адреси клієнта магазину – усе це приклади з задачі *пошуку найближчих засобів обслуговування* (Closest facility analysis). При пошуку найближчих об'єктів, можна вказати, скільки їх потрібно знайти і чи є хоча б один напрямок руху в бік або від них. Як тільки знайдені найближчі об'єкти, можна відобразити оптимальний маршрут до них або від них, транспортні витрати для кожного маршруту й напрямку до кожного об'єкта. Крім цього, можна вказати поріг імпедансу, за яким не доведеться шукати об'єкт.

Наприклад, можна налаштувати завдання пошуку найближчого об'єкта для віднайдення лікарень у 15 хвилих їзди від місця аварії.

Будь-яка лікарня, шлях до якої займає більше 15 хвилин, не включатиметься в результат.

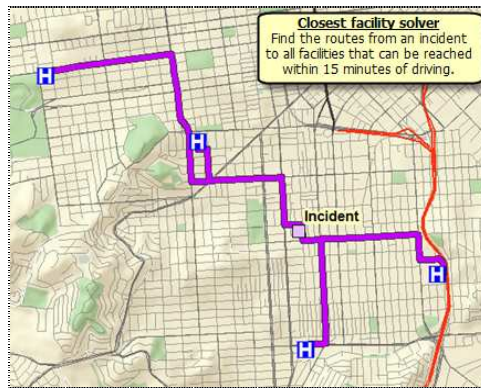


Рис. 12.3.7.11 – Пошук найближчого до інциденту закладу обслуговування [14]

Лікарні розглядаються як засіб обслуговування, а аварія – як інцидент. ArcGIS Network Analyst дозволяє виконувати пошук кількох найближчих об'єктів одночасно. Це означає, що ви можете мати кілька інцидентів і знайти найближчий об'єкт або об'єкти для кожного випадку.

12.3.3.4 Визначення зони обслуговування

За допомогою функції *Service area analysis* у Network Analyst можна знайти *зони обслуговування* (Service area) навколо будь-якого місця в мережі. Мережна зона обслуговування – регіон, який включає всі досяжні вулиці – вулиці, які лежать у межах зазначеного опору. Наприклад, 10-хвилинна зона обслуговування для об'єкта включає всі вулиці, яких достатися протягом 10 хвилинного переміщення від цього об'єкта.

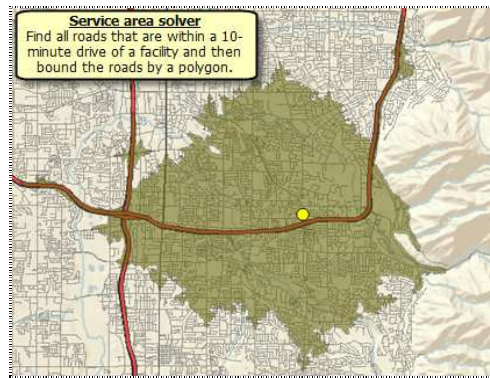


Рис. 12.3.7 – Зона обслуговування [14]

Що таке досяжність? Досяжність означає можливість досягти, дійти, доїхати до певного місця. Досяжність може бути виміряна термінами відстані переміщення, часу в дорозі або будь-якого іншого імпедансу (опору) в мережі. Оцінка досяжності допомагає відповісти на такі питання, як "Скільки людей живе в межах 10-ти хвилинної їзди від кінотеатру?" або "Скільки клієнтів живе за півкілометра ходьби від нічного магазину?". Дослідження досяжності може допомогти вам визначити, наскільки підходить місце для нового бізнесу. Воно також може допомогти визначити, що розташована поблизу існуючого бізнесу, щоб зробити інші маркетингові рішення.

Оцінка досяжності. Один із найпростіших способів оцінити досяжність – буферну відстань навколо точки. Наприклад, дізнатися, скільки клієнтів живе в межах 5-кілометрового радіусу місця, можна за допомогою простого кола. Проте, враховуючи, що люди переміщуються дорогами, цей метод не відображатиме реального доступу до місця.

Мережний аналітик може подолати це обмеження шляхом виявлення досяжних вулиць у межах п'яти кілометрів від місця за допомогою дорожньої мережі. Після цього можна використовувати мережу обслуговування, щоб побачити те, що поряд із досяжними вулицями, наприклад, можна знайти конкуруючі підприємства в 5 хвилинах їзди.

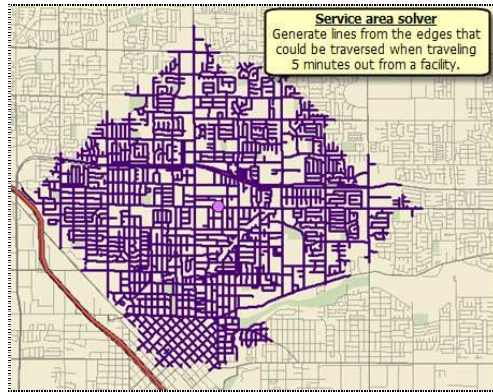


Рис. 12.3.12 – Мережа обслуговування [14]

Кілька концентричних зон обслуговування можуть показати, як доступність змінюється зі збільшенням опору. Вони можуть бути використані, наприклад, щоб показати, скільки лікарень розташовані у 5, 10 і 15-ти хвилинах їзди від школи.

12.3.3.5 Створення матриці витрат джерело-призначення

За допомогою інструмента OD cost matrix analysis можна створити *матрицю витрат джерело-призначення* (origin-destination – OD) з декількох джерел у кілька різних місць (Матриця кореспонденцій). Матриця витрат OD – таблиця, яка містить мережний імпеданс від кожного джерела до кожного пункту призначення. Крім того, вона ранжує призначення так, що кожне джерело з'єднується у висхідному порядку, заснованому на мінімальному опорі мережі, необхідному для пересування від джерела до кожного пункту призначення.

Кращий шлях у мережі знаходиться для кожної пари джерело-призначення, а витрати зберігаються в таблиці атрибутів вихідних ліній. Із міркувань продуктивності використовується пряма лінія; вона завжди зберігає витрати мережі, а не відстань прямої лінії. На рисунку нижче показані результати аналізу матриці витрат OD, які були встановлені, щоб знайти витрати досягнення чотирьох найближчих від кожного джерела призначень.

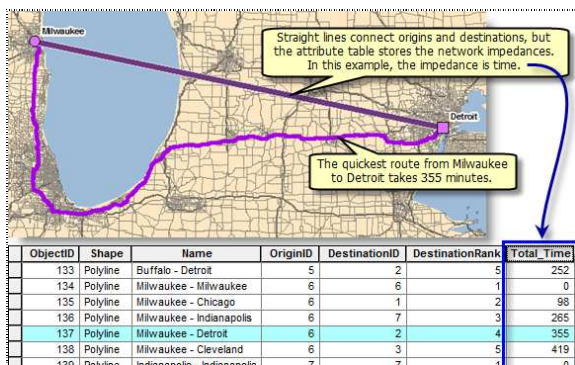


Рис. 12.3.13 – Для кожної прямої лінії джерело-призначення витрати зберігаються в таблиці атрибутів [14]

Прямі лінії можна символізувати різними способами: колір, який указує на їхній початок, товщина, що становить час проходження кожного шляху.

Вирішувачі найближчих об'єктів і матриць витрат джерело-призначення OD проводять дуже схожий аналіз. Головна відмінність, однак, полягає у виведенні та швидкості обчислень. Матриця витрат OD генерує результати швидше, але не може знайти істинні форми маршрутів або напрямки маршрутів. Вона призначена для швидкого вирішення великих $m*n$ проблем і, як наслідок, внутрішньо не містить інформацію для створення форми маршруту й напрямку маршруту. Вирішувач найближчих об'єктів, навпаки, знаходить маршрути й напрямки, але проводить аналіз повільніше, ніж вирішувач матриці вартості OD.

12.3.3.6 Маршрутизація парку транспортних засобів

Диспетчеру управління парком транспортних засобів часто потрібно приймати рішення про *маршрутизацію автотранспорту* (Vehicle routing problem analysis). Одне з таких рішень полягає в тому, як краще за все призначити групу клієнтів для парку транспортних засобів, визначити послідовність і графік їхнього відвідування. Метою у вирішенні таких задач маршрутизації автотранспорту є забезпечення високого рівня обслуговування клієнтів шляхом зміни якогось тимчасового вікна, зберігаючи при цьому якомога меншими загальні експлуатаційні та інвестиційні витрати за кожним маршрутом. Обмеженнями є комплектація маршруту з урахуванням наявних

ресурсів, строків, установлених для робітників, змінності водіїв, швидкість руху та зобов'язання замовник.

Інструментом вирішення задачі маршрутизації парком транспортних засобів є *Vehicle routing problem analysis*. Цей вирішувач проблеми маршрутизації автотранспорту можна також використовувати для вирішення складних завдань управління парком.

Розглянемо, наприклад, вихідні дані для доставки товарів у продуктові магазини з місцеположення центрального складу. Парк складається з трьох вантажних автомобілів. Склад працює тільки протягом певного часу – з 8:00 ранку до 5:00 вечора, – протягом якого всі вантажівки мають повернутися назад на склад. Кожна вантажівка має потужність 7 т, який обмежує кількість товару, який він може нести. Кожен магазин має попит на певну кількість товарів, яка має бути доставлена, і кожен магазин має часові вікна, які обмежують, кчас поставок. Крім того, водій може працювати тільки вісім годин на день, вимагає перерву на обід, і оплачується сума, витрачена на керування й обслуговування магазинів. Мета полягає в тому, щоб знайти маршрут для кожного водія (або маршрут), щоб поставки були зроблені й були виконані всі вимоги з обслуговування та мінімізації загального часу, що витрачається на конкретний маршрут для водія.

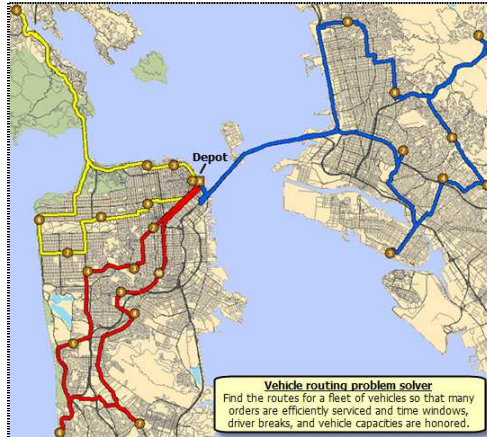


Рис. 12.3.14 – Маршрутизація трьох транспортних засобів [14]

На рис. 12.3.14 показані три маршрути, отримані при вирішенні визначеного завдання маршрутизації транспортних засобів.

12.3.3.7 Пошук розміщення-розподілу об'єктів

Проблема місця розташування економічної діяльності привертає велику увагу останнім часом. Одна з формулювань проблеми, названа проблемою Location-Allocation (Розміщення-Розподіл), була представлена Купером [Cooper], де він розглядає місцезонашення m джерел для обслуговування / постачання (supply) n місць призначення із вимогами W_j до місць призначення j за умови мінімуму загальних транспортних витрат.

Аналіз Розміщення-Розподіл (Location-Allocation analysis) – це процес пошуку кращих місць для одного або декількох засобів обслуговування (Facilities), які будуть обслуговувати даний набір пунктів попиту (Demand points), й подальшого призначення цих пунктах попиту кращих засобів обслуговування, беручи до уваги такі фактори, як кількість наявних засобів обслуговування, їх вартість і максимальний імпеданс від об'єкта до пункту попиту [41].

Аналіз Розміщення-Розподіл [14] допоможе вибрати засоби обслуговування з набору засобів обслуговування для роботи на основі їх потенціалу взаємодії з пунктами попиту. Аналіз може допомогти відповісти на питання подібні наступним.

- З урахуванням набору існуючих пожежних станцій, яке місце для нової пожежної станції забезпечить кращий час реакції?
- Якщо компанія роздрібною торгівлі зменшує розміри, які магазини можна закрити за умови підтримки найбільш загального попиту?
- Де може бути побудований завод, щоб мінімізувати відстань до розподільних центрів?

У цих прикладах:

- засоби обслуговування (Facilities) будуть представляти пожежні станції, магазини і заводи;
- пункти попиту (Demand points) будуть представляти будівлі, клієнти та розподільчі центри.

Мета аналізу може полягати в тому, щоб:

- мінімізувати загальну відстань між пунктами попиту і засобами обслуговування;
- максимізувати кількість пунктів попиту на певній відстані від засобів обслуговування;
- максимізувати розподілену величину попиту, яка затухає із збільшенням відстані від засобу обслуговування;
- максимізувати обсяг попиту, що знаходиться в середовищі дружніх і конкуруючих засобів обслуговування.



Рис. 12.3.15 – Массив пожежних станцій і масив середин вулиць [14]

В якості прикладу на рис. 12.3.15 показані результати аналізу Розміщення-Розподіл, що має на меті визначити, які пожежні станції є надлишковими. Наступна інформація була надана: масив пожежних станцій (засобів обслуговування – Facilities), масив середин вулиць (точок попиту – Demand points) і максимально допустимий час реакції. Час реакції – час, необхідний для досягнення пожежних даного місця. Інструментом аналізу Розміщення-Розподіл встановлено, що можна закрити кілька пожежних станцій і при цьому зберігати трихвилинний час реакції.

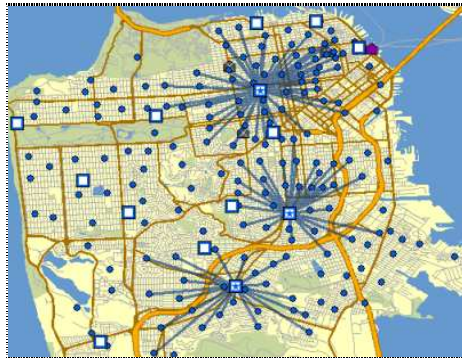


Рис. 3.2.3.16 – Необхідні пожежні станції [14]

З поточного набору пожежних станцій дев'ять можна закрити, а мінімум сім необхідні і які повинні бути готовими реагувати на надзвичайні ситуації протягом трьох хвилин.

На ринку програмних продуктів ArcGIS є унікальною в наданні набору аналітичних інструментів для вирішення проблеми Розміщення-Розподіл. У ArcGIS аналіз Розміщення-Розподіл розглядає шість різних типів задач.

- Мінімізація імпедансу (Minimize impedance) – зменшення загальної відстані для переміщення до досягнення обраних об'єктів, корисних для розміщення таких закладів обслуговування, як бібліотеки, регіональні аеропорти, музеї, офіси департаменту автомобілів і лікарні.
- Максимізація покриття (Maximize coverage) – часто використовується, щоб знайти пожежні станції, поліцейські ділянки та центри реагування на надзвичайні ситуації, оскільки аварійно-рятувальним службам необхідно прибути у всіх пунктів запиту протягом певного часу відгуку.
- Мінімізація засобів обслуговування (Minimize facilities) – така ж задача, як і максимальне охоплення, але з вимушеним винятком низки певних закладів обслуговування.
- Збільшення відвідуваності (Maximize attendance) – передбачає, що чим далі люди мають подорожувати для досягнення закладів обслуговування, тим менше шансів, що вони його використовують; знаходить своє відображення в тому, що кількість пунктів попиту, розподілених за засобами обслуговування, зменшується з відстанню.
- Збільшення частки ринку (Maximize market share) – знаходить певну кількість закладів обслуговування, які розподіляють попит, з досягненням максимуму при наявності конкурентів. Мета полягає в тому, щоб захопити якомога більше від сукупної частки ринку, можливо із заданою кількістю об'єктів, які вкажете. Загальна частка ринку – сума всього попиту, зважена для дійсних пунктів попиту.
- Планування частки ринку (Target market share) – знаходить мінімальну кількість об'єктів, необхідних для захоплення певного відсотка від загальної частки ринку у присутності конкурентів. Ви встановлюєте відсотки частки ринку, яких хочете досягти, і нехай вирішувач обирає найменшу кількість засобів обслуговування, необхідних для задоволення цього порога.

12.4 ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПІДГОТОВКИ

- 1) Які спеціалізовані інструменти для пошуку місця розташування задовольняють просторовим умовам?
- 2) Опишіть пошук місця розташування в дискретній моделі простору векторними інструментами оверлейного аналізу.
- 3) Опишіть пошук місця розташування в дискретній моделі простору векторними інструментами аналізу близькості.
- 4) Опишіть пошук місця розташування в безперервній моделі простору растровими інструментами оверлейного аналізу.
- 5) Опишіть пошук місця розташування в безперервній моделі простору растровими інструментами аналізу близькості "Евклідова відстань".
- 6) Опишіть пошук місця розташування в безперервній моделі простору растровими інструментами аналізу близькості "Витратна відстань".
- 7) Опишіть пошук місця розташування в безперервній моделі простору растровими інструментами аналізу розподілу.
- 8) Наведіть загальну характеристику типів задач пошуку розташувань у мережній моделі простору.

13. АНАЛІЗ ПРОСТОРОВИХ ЗМІН

13.1 СУТНІСТЬ АНАЛІЗУ ПРОСТОРОВИХ ЗМІН

Формулювання просторового запиту

Третьої категорії задач ГІС-аналізу у формулюванні оригіналу відповідає просторовому запиту: Trends: What has changed since...? (Тенденції: Що змінилося з тих пір...?) [10].

Простір нерозривно пов'язаний з часом – четвертою координатою просторово-часового континууму. Просторові зміни завжди відбуваються зі зміною часу. Тому, відповідь на цей запит, по-перше, становить спробу *визначити зміни, що відбулися у просторі й часі* на певній території. Таким чином, у цьому запиті йдеться про просторово-часові зміни (Spatio-temporal changes).

По-друге, відповідь на цей запит може також становити спробу визначити *тенденції* (Trends) цих змін на певній території. Наприклад, якою є тенденція поширення грипу в місті, які нові об'єкти побудовані за останній рік, яким є зростання урбанізованих територій?

Цей тип запиту може включати обидві частини запиту, щоб визначити, які зміни відбулися в районі дослідження з перебігом часу і якими є тенденції цих змін за вказаний період?

Цілі аналізу просторових змін

Енді Мітчелл у посібнику з ГІС аналізу [3] виділяє наступні цілі аналізу просторових змін:

- *передбачення майбутніх змін*, прийняття рішення про вживання заходів впливу або практичної діяльності. Відображаючи на карті положення рухомих об'єктів у певні моменти часу, можна глибше вникнути у причини їхньої поведінки. Наприклад, метеоролог може вивчати маршрути ураганів для прогнозування їхньої появи в майбутньому.
- *прогнозування майбутніх потреб*. Наприклад, начальник поліції може вивчати, яким чином із місяця в місяць змінюється злочинність у різних районах міста, щоб планувати маршрути патрульної служби. Планувальник транспортної мережі може враховувати тенденції зміни дорожнього руху, щоб вчасно підвести додаткові вулиці до швидкісних шосе та магістралей.

- *оцінка ефективності вжитих заходів.* Начальник поліції, наприклад, може протягом півроку до та після операції наносити на карту місця затримання розповсюджувачів наркотиків, щоб оцінити ефективність ужитих заходів. Аналітик ринку роздрібною торгівлі може відслідковувати зміни в обсязі продажів до та після рекламної кампанії, оцінюючи ефективність реклами.

Набір аналітичних питань

Спираючись на обмежені записи, одні дослідники намагаються зрозуміти процеси, які призвели до розвитку спостережуваних явищ. Розуміння цих процесів потрібне для того, щоб запропонувати пояснення і спророкувати ефект останніх змін у цих явищах, їхній внесок в інші явища. Інших дослідників пов'язують зі записом поточних змін, зі створенням аудиту зрізу, з яких можна визначити точні моменти змін.

Дослідники визначили наступний набір аналітичних питань, які характеризують вивчення змін:

- якісні зміни: що змінилося?
- кількісні зміни: на скільки ж це змінити?
- композитні зміни: який процес зміни?
- просторово-часові відносини: яким є дескриптори відповідності між простором і часом, де і коли зміни відбуваються, якою є періодичність змін?

Методи аналізу просторово-часових змін ефективні для прогнозування в таких сферах, як метеорологія та гідродинаміка, де існуючі фізичні закони дозволяють з достатньою точністю розраховувати майбутні значення й місця, щоб, моделювати забруднення підземних вод, управляти використанням землі, розвитком міст...

ГІС надає можливість відстежувати зміни, показуючи місце розташування та стан об'єктів на кожен момент часу, або розрахувати і відображати на карті зміни, що відбулися з кожним об'єктом за встановлений період. Зберігаючи і зіставляючи карти різних дат, ГІС може виконувати часовий аналіз. Знання типу зміни й типу досліджуваного об'єкта, а також уявлення про інформацію, яку припускаєте отримати внаслідок аналізу, допоможе прийняти рішення про спосіб відображення змін.

13.2 АСПЕКТИ АНАЛІЗУ ЗМІН

Різні дисципліни по-різному розуміють зміни, й, отже, мають різні погляди на компоненти аналізу. При аналізі просторово-часових змін виділяються істотні аспекти, які вимагають однозначного розуміння:

- типи змін;
- типи об'єктів;
- час спостережень;
- масштаб і швидкість змін.

13.2.1 Типи змін

Географічні об'єкти можуть змінювати місце розташування, геометрію або властивості.

Зміна місцезонашення. Відображення на карті зміни місця розташування об'єкта дає можливість визначити закономірності його поведінки та передбачити зміну стану. Наприклад, можна відображати на карті щомісячні зведення пересування ураганів, щоб відстежити періодичність їхньої появи. Створивши карту сезонних перельотів птахи сапсан, можна визначити масштаби міграції цього виду.

Зміна розмірів або властивостей об'єкта. Відображення на карті змін розмірів або властивостей об'єкта дає можливість простежити, як змінилися умови в цьому місці. Можлива також зміна типу об'єкта, наприклад, зміна типу рослинного покриву в басейні річки за останні 20 років.

Зміни кількісних показників об'єкта. Зміни можуть стосуватися кількісних показників об'єкта, наприклад, приріст кількості населення в кожній області за останні 20 років або сезонні коливання вмісту окису вуглецю в повітрі.

Зміни місця розташування не виключають можливості зміни властивостей. Певний фактор може змінити місце розташування і властивості об'єкта в один і той же час. Прикладом може служити ураган, у якому швидкість вітру змінюється залежно від того, над якою поверхнею він пересувається: водою або сушею.

13.2.2 Типи об'єктів просторових змін

Знання типу об'єктів просторових змін допомагає визначити найкращий метод відображення досліджуваної зміни. Слід розрізняти

два типи об'єктів просторових змін: 1) рухомі об'єкти, 2) об'єкти, що змінюють властивості або розміри.

Рухомі об'єкти

На карті можна відображати фізичні переміщення як дискретних об'єктів, так і просторових явищ.

Дискретні об'єкти. Рух кожного дискретного об'єкта у просторі можна простежити. Якщо це такий точковий об'єкт, як ураган, автомобіль або тварина, є можливість відобразити його маршрут точками за шляхом руху. Якщо це такі лінійні об'єкти, що змінюють напрямок, як річкове гирло, змінюють позицію на карті. Зміну форми площинного об'єкта, наприклад, зони пожежі, можна відобразити в будь-який момент часу. Площинні об'єкти часто становлять контур, який розширюється або стискається, наприклад, при розливі нафти, пожежі в лісі чи розвитку міської території.

Просторові явища. Такі події, як злочини або землетрус, становлять собою просторові явища, що виникають у різних місцях. Тоді як кожна окрема подія відбувається в одній точці, серія подій може мати просторовий розвиток і відбиватися на карті для того, щоб показати рух явища в часі.

Об'єкти, що змінюють властивості або розміри

На карті можна відображати зміни властивостей або розмірів дискретних об'єктів, узагальнених за площею даних, безперервних категорій або безперервних числових значень.

Дискретні об'єкти. Цей тип об'єктів може змінювати властивості або величину пов'язаної з ними атрибутивної інформації. Прикладами можуть служити магазини, обсяг продажу яких змінюється з місяця в місяць, ділянки, на яких за десятирічний період змінився характер землекористування, вулиці зі зміною напрямку і швидкості руху протягом доби.

Дані, узагальнені за площею. Це агреговані дані, відсотки або інші кількісні показники, що характеризують сукупність об'єктів, розташованих у межах області, наприклад, щорічна зміна населення області або щомісячні коливання кількості дзвінків до служби порятунку.

Безперервні категорії. Безперервні категорії відображають тип об'єкта в точці, наприклад, тип рослинного покриву. Вони можуть бути представлені у вигляді областей або поверхні.

Безперервні значення. Це такі безперервні величини, як рівні забруднення, які можуть бути отримані в будь-якій точці поверхні. Зазвичай ці дані вимірюються в таких фіксованих точках, як станції контролю якості повітря, й інтерполюються з метою створення безперервної поверхні.

13.2.3 Час спостережень

Як уже зазначалося, просторові зміни завжди відбуваються зі зміною часу. У сучасному розумінні час характеризують загальні та специфічні властивості. До загальних властивостей часу належать: одинірність, незворотність, спрямованість завжди від минулого до майбутнього, тривалість, яка виражає послідовність існування та зміни стану об'єктів. Специфічними формами часу є конкретні періоди існування об'єктів, одночасність подій, ритм процесів, швидкість зміни станів, темпи розвитку.

Тривалість утворюється з виниклих один за іншим моментів або періодів часу. Вибір моментів часу, а також виділення часових інтервалів, протягом яких проводяться спостереження, багато в чому визначають процес виявлення просторових закономірностей на карті.

Моделі часового ряду

У процесі аналізу використовують три основні моделі оцінки часових змін.

1. *Тенденція* – зміна між двома (або більше) моментами часу. Тенденції відображають збільшення або зменшення досліджуваної величини в часі або її просторові зміни.
2. *Цикл* – зміни, що повторюються в певний період часу, наприклад, раз на день, місяць або рік. Цикли показують повторювані закономірності в поведінці об'єктів, які наносяться на карту.
3. *Стан "до" та "після"* – умови, що попередні події й стали його результатом. Відображення на карті умов "до" та "після" події в процесі оцінки наслідків дозволяє спостерігати вплив на цей стан. Можна виявити кожен із зазначених закономірностей у досліджуваному наборі даних. Наприклад, якщо ви оцінюєте рівні двоокису сірки, виміряні щогодини протягом 10 років, можна нанести на карту середньорічні рівні, щоб побачити тенденцію зміни забруднення за роками. Існує також можливість зіставити на карті середньорічні рівні "до" або "після" певної дати, наприклад,

дати введення нових регулюючих правил, щоб побачити, який вплив вони чинили.

Ці закономірності можна так само виявляти в комплексі. Наприклад, можна показати, як змінилися денні цикли забруднення протягом декількох років.

Розподіл часу спостереження

При аналізі змін визначається місце розташування (або параметри) об'єктів у два (чи більше) моменти часу, а також узагальнюються основні параметри об'єкта за певний період або кілька періодів. У цьому випадку необхідно вирішити, скільки моментів часу показати на карті та які інтервали встановити між ними.

Використання часових зрізів або узагальнень

Часові зрізи відображають стан процесу в певний момент часу й використовуються для відображення таких постійно мінливих в часі величин, як кількість населення, рослинний покрив чи якість повітря. У будь-який момент часу є наявне певне значення цієї величини. Узагальнення використовується для картування місць дискретних подій, які не є постійними в часі, тобто, у будь-який момент часу подія або відбувається, або не відбувається.

Наприклад, можна відображати на карті дзвінки до служби порятунку за місячний період або нанести розташування пожеж, що сталися протягом декількох років (відображення на карті пожеж, що відбуваються в будь-який момент, не дасть уявлення про їхній розподіл). Так само можна узагальнити значення безперервного явища протягом заданого періоду часу. Наприклад, узагальнити щоденні дані про температуру повітря в місті в середньомісячний показник.

При узагальненні слід підрахувати кількість подій, що відбулися (наприклад, кількість автомобільних крадіжок), знайти суму значень (таких як загальна вартість вкраденого) або розрахувати інші статистичні дані (наприклад, середня вартість кожної крадіжки). Можна так само узагальнити та відобразити на карті дискретні події в межах установлених кордонів, наприклад, загальна кількість дзвінків до служби порятунку в межах округу за місяць або кількість ударів блискавки поруч із кожною опорою лінією електропостачання під час грози.

Вибір часової шкали

Для визначення тенденції зміни необхідно визначити часовий інтервал, кількість часових зрізів і тривалість періоду узагальнення. *Тривалість*, поділена на кількість часових зрізів, дає *інтервал*. І навпаки, тривалість, розділена на інтервал, дає *кількість часових зрізів*. Якщо дані були зібрані тільки на кілька моментів часу, інтервал визначається сам собою. Однак, якщо є низка спостережень, можна вибрати часовий інтервал самостійно.

Наприклад, якщо наявна середньорічна кількість населення за областями за 20-річний період, можна показати приріст населення за один, п'ять чи шість років. Для користувачів закономірності будуть виднішими, якщо використовувати систематичний часовий інтервал. Взагалі, часовий інтервал має бути доволі тривалим, щоб показати відмінність між двома станами, але не пропускати важливої інформації. Наприклад, зміна населення з року в рік може не дуже відрізнитися, але подекадні зміни можуть проявлятися краще.

Необхідна кількість використовуваних *часових зрізів* залежить від характеру змін. Якщо зміни протікають повільно та рівномірно, кілька широко розподілених часових зрізів можуть точно виявити загальну картину. Однак, у цьому випадку є небезпека пропустити важливі зміни, які могли відбутися у проміжках. Наприклад, відображення на карті кількості населення в 1990 і 2010 рр. показує значну зміну між цими датами. Але якщо показати демографічну ситуацію в 1990, 2000 і 2010 рр., можна побачити, що найбільша зміна відбулася якраз між 1990 і 2000 роками.

Для відображення на карті *циклів* необхідно або показати часовий зріз, або узагальнити дані за період, залежно від того й наносити на карту дискретні події або безперервні явища.

Що стосується *дискретних подій*, краще узагальнити їх, ніж використовувати дані на момент часу. Наприклад, замість того, щоб відображати на карті всі дзвінки до служби порятунку, які відбулися рівно о 9 ранку, 3 годині дня, 9 вечори й о 3 ранку, краще привласнити код кожному дзвінку, який стався вранці (з 6:00 до полудня) або після обіду (після обіду до 6 годин), і так далі, а потім відобразити на карті дзвінки відповідності до періоду, у який вони потрапляють. Це значно спрощує й полегшує розуміння даних.

Для *безперервних явищ* зручніше використовувати часові зрізи, наприклад, що показують уміст озону о 9 ранку, 3 дня, 9 вечора й 3 ранку. Із іншого боку, можна узагальнити дані за період, наприклад, показати середній уміст озону між 6 годинами ранку та полуднем,

полуднем й 6 годинами вечора, і т. д. Узагальнення згладжує екстремальні значення, полегшуючи розуміння основних закономірностей зміни.

У іншому випадку може знадобитися організувати цикл. Наприклад, можна розбити добовий цикл на двадцять чотири періоди по одній годині, на чотири періоди по шість годин або два періоди по 12 годин. Таким же чином річний цикл ділиться на дванадцять місяців або на чотири пори року. Невелика кількість підрозділів добре відображає тенденцію. Однак, чим нестійкіша зміна, тим більше підрозділів необхідно використовувати. Наприклад, якщо наносите на карту кількість дощових опадів в області, відображення ситуації по сезонах буде достатнім, оскільки зміна між порами року більш значна, ніж між місяцями. Може також буде потрібно вирішити, яка тривалість періоду спостережень, тобто, скільки циклів включати в розгляд.

Якщо досліджуються наслідки такої катастрофи, як ураган або пожежа, краще використовувати часові зрізи, зроблені до та після події. Бажано при цьому вибрати дати якнайближчі до події, оскільки, чим довший проміжок часу до події, тим більша кількість чинників може вплинути на результат. Якщо ви наносите на карту наслідки поточних подій, корисно буває узагальнити їх за періодами часу. При чому, період має бути достатньо довгим, щоб дати можливість побачити результати події або дії.

13.2.4 Масштаб і швидкість зміни

При вивченні зміни розмірів або властивостей об'єкта на карті можна відображати масштаб і швидкість зміни. Кількісна оцінка змін краща, ніж просте відображення різночасних обставин з виділенням об'єктів, які зазнали істотних змін.

Оцінка масштабу зміни

При кількісній оцінці змін віднімаються різночаснові числові значення, пов'язані з кожним об'єктом. Наприклад, ви можете відняти кількість населення 2000 року за кожною областю з кількістю населення в 2010 році, щоб отримати зміну населення між 2000 і 2010 рр. Або відняти обсяг продажів кожного магазину за 2010 р. від аналогічного показника за 2011 р. й отримати різницю в обсязі продажу за рік.

Можна розрахувати різницю у відсотках, розділивши кінцеве значення на початкове й помноживши на 100. Нанесення на карту відсоткового показника дає можливість оцінити відносні зміни значень об'єктів від їхніх вихідних величин. Особливо ефективний цей підхід при оцінці змін числової характеристики об'єкта. Наприклад, можете відображати на карті відсоток зміни кількості населення за областями, щоб дізнатися, у якій області населення зростає швидше. Области з великою кількістю населення зазвичай мають більший абсолютний приріст, але відсоток об'єктивніше відображає цю характеристику. Для оцінки зміни типу або категорії об'єктів додаєте площу ділянок кожної категорії на кожен період часу і розраховуєте абсолютну чи відносну різницю між ними.

Оцінка швидкості зміни

Специфічною властивістю часу є швидкість зміни станів. Для того щоб оцінити швидкість зміни, різницю між двома різновіковими значеннями потрібно поділити на кількість часу, що розділяє дати вимірювань. Результат є середня зміна за одиницю часу.

Наприклад, можна відняти кількість населення в 1990 р. в кожній області з кількості населення в 2010 р. і розділити це значення на 20 для отримання приросту населення за рік. Це – середнє число за двадцятирічний період, і воно не обов'язково точно характеризує приріст у будь-якому році цього інтервалу. Однак такий спосіб дуже зручний для зіставлення об'єктів. Наприклад, ви можете нанести на карту швидкість зміни кількості населення в кожній області й побачити, де зростання було швидшим, а де повільнішим.

13.3 Підходи до аналізу просторово-часових змін

Протягом багатьох років дослідники розробили способи обробки часу в межах структур, що надаються технологією, які мають своє коріння в поданні, по суті, статичного вмісту карти. [12, с. 11-12].

Один підхід до визначення змін полягає у *використанні концепції регіону* як сукупності невеликих площ. Ранні моделі ГІС-даних були топологічними, а це означає, що вони включають інформацію про такі топологічні властивості, як суміжність і зв'язність. Модель покриття була розроблена, щоб представляти розбиття двовимірного простору на непересічні та просторові полігони. Наприклад, у США всі кордони графства, які коли-небудь існували, спочатку картографували,

створюючи дуже велику кількість дрібних базових величин. У моделі покриття вони представлені у вигляді набору дуг, кожна дуга визначає межу між двома сусідніми органами. Карта меж округів часто змінювалася з моменту здобуття незалежності відповідно до того, як нові райони поділяли на округи, межі графств змінювали, а округи поділяли або об'єднували. Округи в будь-який момент часу можуть бути створені заново, обравши ті дуги, які поділяють штати в цей час, й зібравши їх в області для формування регіонів того часу. Та ж сама концепція основних одиниць часто спливає в обговоренні декількох класифікацій землі, де інтегрованим блоком місцевості визначається площа земельної ділянки, яка є однорідною й суміжною відносно класифікації. Усі оригінальні карти можуть створюватися заново з картою інтегрованих блоків місцевості шляхом розчинення відповідних дуг. Регіони також корисні для представлення подій у часі, які можуть перетинатися й не вичерпують простору, зокрема сліди лісової пожежі або земельні сервітути.

Інший підхід полягає у *відстеженні місць незалежно рухомих об'єктів*. Наприклад, сукупність індивідів можна відстежувати за допомогою GPS; їхнє місце розташування буде зареєстрованим на кожен заданий інтервал часу. Подібні методи часто використовуються для відстеження тварин. По суті, цей тип даних дає низку ліній у тривимірному просторі, утвореному двома просторовими вимірами (за горизонталлю) і часом (вертикально), з обмеженнями, коли кожна лінія перетинає лише один раз будь-який горизонтальний зріз (фіксований час) моделі.

Третій підхід подає кожен період часу як простий знімок (здебільшого растр) і зміни в часі як *упорядковану послідовність таких знімків*. Цей підхід застосовують у галузі дистанційного зондування. Рухомі об'єкти не є частиною представництва, хоча вони могли б бути виявлені за допомогою тієї чи іншої форми обробки зображення та представлені з використанням відстеження шляху. Підхід використовується в багатьох пакетах моделювання на основі растрів.

13.4 ІНСТРУМЕНТИ АНАЛІЗУ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ ЗМІН

Програмне забезпечення ArcGIS 10 пропонує безліч інструментів для роботи з часовими даними: від найпростіших функцій обчислення часових атрибутів до аналізу ситуації в режимі реального часу [42].

Таблиці бази геоданих підтримують будь-яку кількість атрибутивних полів типу Date для зберігання інформації про дату початку події, її завершення і тривалість. Спеціальні функції дозволяють обчислювати значення полів типу Date відповідно до вимог подальшого аналізу: додавати інтервал до дати (DateAdd), повертати інтервал між датами (DateDiff) і вказану частину дати (DatePart) (наприклад, день року або день тижня). Додаткові інструменти геообробки розширюють можливості роботи з часовими полями, а також дозволяють конвертувати текстові або числові значення у формат Date.

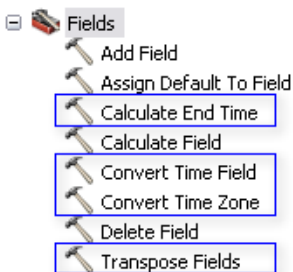


Рис. 13.4.1 – Інструменти Time_ArcToolbox [14]

У програмному забезпеченні ArcGIS 10 для відображення часових даних достатньо у властивостях шару ArcMap (у новій закладці Час (Time)) вказати, у якому атрибутивному полі зберігається інформація про час подій, і задати такі параметри перегляду, як швидкість або часовий інтервал.

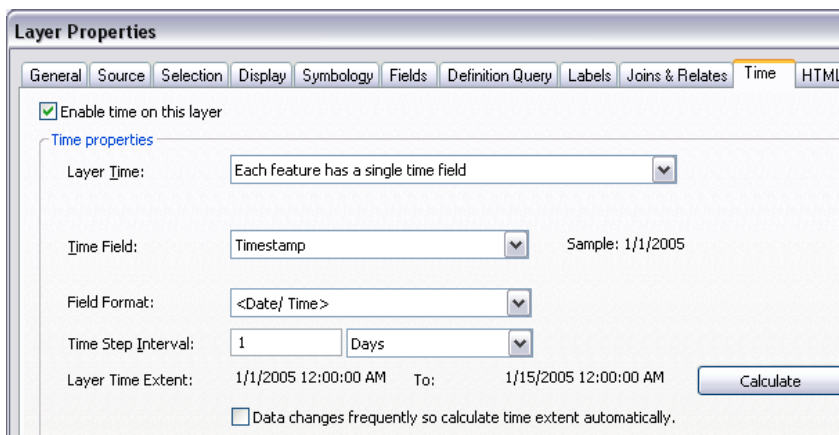


Рис. 13.4.2 – Вікно Time_tab [14]

Для відображення явищ, що мають характер накопичення, наприклад, історії розвитку торговельної мережі, достатньо одного атрибутивного поля – рік відкриття торговельного вузла. Для ілюстрації змінних подій (вогнища поширення пожеж) використовуються атрибутивні поля початку події та її завершення.

Вікно Time Slider дозволяє переглядати стан даних на будь-яку дату, переміщуючи повзунок часу, або запускати автоматичний перегляд об'єктів. Показ тимчасових даних можна здійснювати в циклічному режимі або з накопиченням даних.

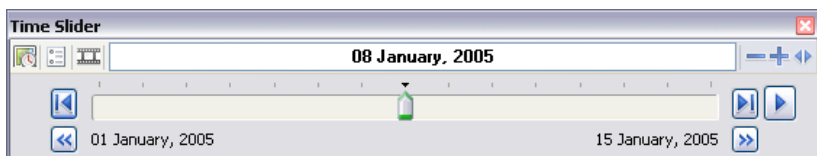


Рис. 13.4.3 – Вікно Time_slider [14]

Швидке і просте налаштування відображення шарів за часовими даними дозволяє підвищувати якість створюваних карт. Відображення таких даних одразу для декількох шарів карти дозволяє створити комплексну динамічну карту, що описує історію виникнення й розвитку явищ і процесів у просторі та часі. Для підвищення якості, інформативності й наочності карти динамічне відображення

застосовується не тільки до просторових об'єктів, але й до каталогів растрів і наборів даних Мозаїка, а також до діаграм, заголовка та інших елементів карти. Крім того, динамічні шари, які відображаються за часовими даними, можна публікувати за допомогою ArcGIS Server у вигляді картографічних веб-сервісів.

Використання в ArcGIS 10 *анімації*, а не нової властивості відображення шару з тимчасового атрибута, виправдане в тому випадку, коли необхідно поєднати показ тимчасових змін з такими ефектами, як прозорість, масштабування або кут огляду даних. Наприклад, необхідно показати розвиток транспортної мережі з масштабуванням даних із розширенням межі міста. В ArcGIS 10 анімація тимчасових даних створюється автоматично за заданими налаштуваннями відображення шару в закладці Час (Time). Інструмент Capture Keyframe (Кадр захоплення) дозволяє задати екстенти, за якими буде переміщатися вид даних під час перегляду анімації, а швидкість переміщення між екстентами задається у вікні Animation.Manager (Менеджер анімації).

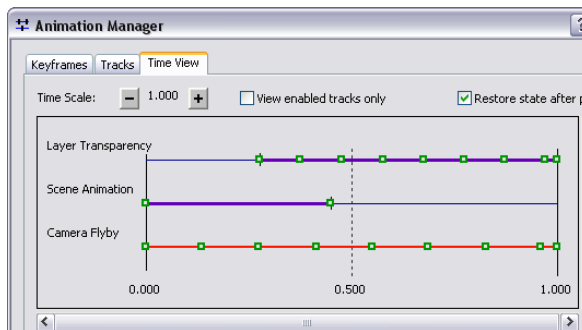


Рис. 13.4.4 – Вікно Animation.Manager [14]

Динамічний показ даних, побудований на властивості відображення шарів або анімації, можна експортувати в окремий файл (наприклад, із розширенням .Avi або .Mov) для подальшої інтеграції з іншими додатками.

У ArcGIS додатковий модуль Tracking Analyst становить потужний інструмент візуалізації й аналізу низок даних на основі поєднання параметрів часу, місця розташування й атрибутів [43].

За допомогою Tracking Analyst можна відображати та вивчати динаміку розвитку різних подій чи явищ, створювати системи спостереження за об'єктами в реальному режимі часу, планувати хід

розвитку подій у прив'язці до простору та часу, забезпечувати управління та координацію оперативних дій, здійснювати моніторинг явищ і подій (рис. 13.4.5).

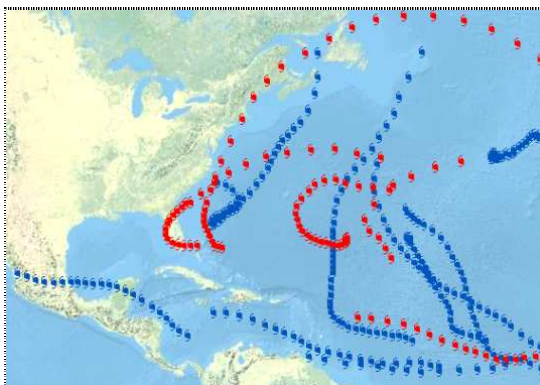


Рис. 13.4.5 – Накладання тимчасових даних ураганів, що трапилися за два роки [14]

Tracking Analyst дає можливість приймати, відображати та вивчати інформацію про зміну місця розташування об'єктів і подій у різний час. Події та явища описуються у Tracking Analyst набором наступних параметрів:

- час – дата й час події;
- місце розташування – географічне місце розташування події;
- атрибути – специфічні характеристики і властивості події.

Дані у Tracking Analyst можуть відображатися як набори окремих точок, у вигляді ліній, полігонів і траєкторій (маршрутів). Кожен шар має свій власний тимчасовий екстент, що визначає обсяг і час відображення конкретних даних. Широкий вибір символів дозволяє по-різному відображати дані залежно від характеристик часу. Для наборів даних з часовими характеристиками можливе комбінування звичайних і тимчасових символів. В залежності від параметра часу символи точкових об'єктів можуть змінювати свій колір, розмір і сам значок символа, лінійні та полігональні символи можуть змінювати тільки колір. Можливе відображення траєкторій переміщення об'єктів.

За допомогою широкого спектра включених до Tracking Analyst інструментів дані, що мають тимчасовий складовник, можуть записуватися у вигляді анімаційних файлів, відображатися на картах і у вигляді графіків, інтерактивно програватися, а також аналізуватися. Вони дозволяють відображати щільність просторових подій у часі у

вигляді діаграм (даних годин), використовуючи різні методи визначення щільності. Можна задавати різні дії (підсвічування, приховування та поява об'єкта або задана користувачем дія), засновані на атрибуті або просторовому взаємозв'язку об'єктів. Установлюючи часове зрушення, можна одночасно відображати дані про події, які вже відбулися, відбуваються в реальному часі, а також прогнозуються або плануються, "програвати" послідовність зміни цих даних.

Tracking Analyst дозволяє відображати інформацію, що надходить у реальному часі, наприклад, використовуючи з'єднання з Tracking Server. За допомогою цього модуля можна також обробляти раніше отримані часові ряди і проводити історичний аналіз розвитку явищ.

Програмний продукт Tracking Server надає набір інструментів для здійснення централізованого моніторингу за пересуванням і зміною стану багатьох об'єктів і явищ у реальному часі. Вирішення таких завдань затребуване в діяльності транспортних підприємств, оборонних відомств, оперативних служб і в багатьох інших сферах [44].

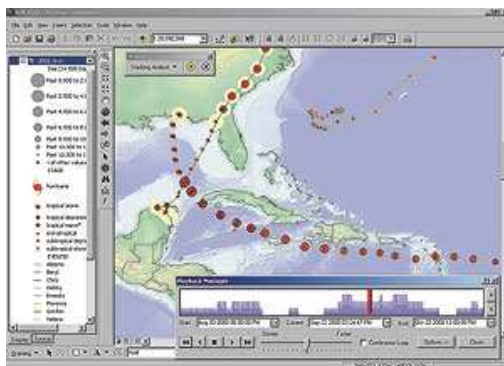


Рис. 13.4.5 – Відображення даних у реальному часі за допомогою Tracking Server

Tracking Server є центром збору та передачі інформації, з яким може зв'язуватися широкий спектр клієнтських додатків. За допомогою Tracking Server можна отримувати, посилати та відображати дані в реальному часі на клієнтських місцях. Для проведення подальшого аналізу Tracking Server дозволяє зберігати дані в різних форматах, включаючи ArcSDE, персональні бази геоданих або шейп-файли. Tracking Server дозволяє легко створити власний Інтернет-сайт моніторингу (Tracking Web site).

Tracking Server надає рішення для збору й відправки даних з багатьох джерел і форматів як настільних, так і Web-додатків. Отримані дані можна зберегти у вигляді файлів або перескерувати їх до настільних і Web-клієнтських додатків. Web-клієнти, фактично, є простими Web-додатками для картографічного відображення та оперативного спостереження за поточними змінами. Такі настільні клієнтські додатки, як ArcGIS Desktop з додатковим модулем Tracking Analyst, дають користувачам потужні можливості для інтеграції тимчасових і просторових (географічних) даних, проведення аналізу даних як у реальному часі, так і певний період часу. Tracking Server допомагає здійснювати моніторинг за різними об'єктами або явищами, відстежуючи всі зміни в реальному часі.

Сьогодні широко використовуються також дані відео-спостережень: камери дорожнього руху, спостереження за атмосферними явищами, моніторинг віддалених об'єктів. Відеодані, що володіють просторовим і тимчасовим складниками, усе частіше стають необхідною частиною комплексного аналізу ситуації.

В ArcGIS 10 є можливість додавати відеодані як шар у застосунку ArcGlobe. До відеос шарів, доданим до глобусу, можна застосовувати налаштування прозорості, видимості, а також задавати час початку програвання, тривалість і часовий пояс відеоряду. Суміщення відеос шарів з показом тимчасових даних дозволяє відобразити найбільш повну картину того, що відбувається в певний момент або період часу.

ArcGIS 10 пропонує широкий вибір інструментів для роботи з часовими даними, використовуючи які можна повною мірою вивчити, як минуле вплинуло на сьогоднішнє, і змодельовати наше майбутнє. Візуалізація часових даних дозволяє включати динаміку в карти будь-якої складності: від простої візуалізації розвитку торговельної мережі до складної тривимірної сцени, відображаючи дані в режимі реального часу.

13.5 СПОСОБИ ВІДОБРАЖЕННЯ ПРОСТОРОВИХ ЗМІН НА КАРТІ

Просторові зміни можна відображати за допомогою:

- часових рядів;
- карт стеження;
- карт кількісної оцінки змін.

13.5.1 Створення часових рядів

Часовий ряд – це набір карт для кожного часового інтервалу або моменту часу, що показують на них розташування або параметри об'єктів. Часові ряди добре відображають зміни в точці простору, у дискретних областях або поверхнях. Оскільки карта робиться для кожного часового зрізу, необхідно заздалегідь визначити кількість карт і значущість відображуваних величин. Часові ряди використовуються, щоб показати зміну місця розташування, розмірів або властивостей об'єкта.

Відображення зміни місця розташування об'єкта

Часові ряди ефективно відображають закономірності руху, якщо в аналіз включено безліч окремих об'єктів, наприклад, дзвінки до служби порятунку за якийсь період. Якщо відобразити дану ситуацію за допомогою карти стеження, кількість розрізнених об'єктів на одній карті ускладнить її сприйняття.

Часові ряди корисні при відображенні руху невеликої кількості таких великих окремих об'єктів, як зона пожежі або розлив нафти, що розвиваються протягом декількох днів. При створенні карти обов'язково знадобиться показати й деякі нерухомі об'єкти для прив'язки. Наприклад, при відображенні на карті ДТП знадобиться нанести одні й ті ж вулиці міста на всю серію карт.

Відображення зміни розмірів об'єкта

Часові ряди, зокрема, добре підходять для відображення зміни розмірів дискретних областей і поверхонь, особливо, якщо зміна істотна. Якщо ж вони невеликі, більш прийнятною може виявитися кількісна оцінка.

Якщо досліджується зміна розмірів або кількості, необхідно класифікувати значення для кожної карти. При цьому необхідно враховувати весь діапазон зміни значень об'єктів на всіх картах. В одних випадках допускається використання для розбивки набору унікальних для кожної карти класових діапазонів, що дозволяють краще розкрити закономірності кожної з них. Хоча це ускладнює швидке розпізнавання змін між картами, оскільки користувачеві доведеться зіставляти зміни однієї й тієї ж величини за різними легендами.

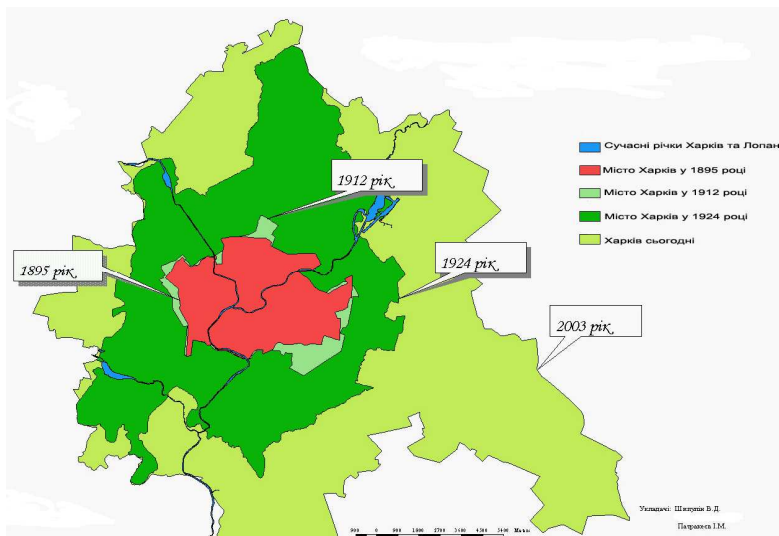


Рис. 13.5.1 – Розвиток території міста Харкова в XVIII – XX століттях

Більш традиційний підхід – використання однієї схеми класифікації до всього діапазону даних на всіх картах. Попередньо можна використовувати гістограму для визначення розривів між класами, а потім вручну встановити однакові для всіх карт діапазони. Використання природної розбивки дозволяє автоматично групувати дані. Однак, якщо, їхні значення змінюються істотно, може виникнути ситуація, коли більшість значень потраплять в один або два класи. Наприклад, кількість населення на картах, що характеризують демографічну ситуацію минулих років, може згрупуватися в нижніх класах, а на більш сучасних – у верхніх. Класифікація "квантиль" із однаковими інтервалами добре зарекомендувала себе стосовно оцінці часових змін. Квантиль дає можливість показати часові зміни порядку ранжирування об'єктів (незважаючи на те, що реальні значення можуть збільшитися або зменшитися в будь-якому класі). Рівні інтервали добре відображають кількісні зміни величин будь-якого класу.

Відображення зміни властивостей об'єкта

Досліджуючи зміни властивостей об'єктів, у підсумку, можна виявити і зміну їхніх категорій. Зазвичай таке можливо у випадку накопичення низки історичних даних або інформації, зібраної з різних

джерел, які спочатку використовувалися для інших цілей. У цьому випадку також можна використовувати наявні категорії кожної карти або створювати нові, які можна застосувати до всіх картх одночасно. Використання наявних категорій найбільш точно відобразить обстановку на кожній окремій карті, хоча може ускладнити їхнє зіставлення. Цей підхід застосовується, якщо однотипні категорії на різних картх схожі або мало відрізняються.

Якщо ви відображаєте кілька категорій, їх у разі необхідності можна узагальнити в одну. У деяких випадках категорії, розрізнені для одного моменту часу, можна легко узагальнити для іншого часового періоду, наприклад, одна карта може показувати різні категорії лісу: сосна, ялина, модрина й так далі, – які можуть бути на іншій карті згруповані в загальну категорію "хвойні ліси".

Кількість карт, необхідна для подання

Якщо наявна достатньо низка спостережень спостережень, необхідно вирішити, якою кількістю карт її краще представити. Демонстрація декількох, доволі відірваних за часом карт може полегшити сприйняття. З іншого боку, показ більшої кількості карт, близьких за часом, може розкрити закономірності, які губляться в першому випадку. Достатньо важко оцінювати одночасно більше п'яти-шести карт. Досвід показує, що демонстрації всього декількох графічних додатків зазвичай достатньо.

13.5.2 Створення карт стеження

Кarti стеження

Карта стеження – окрема карта, що показує розташування об'єктів заданий момент або інтервал часу. Карта стеження створюється для показу руху дискретної точки, лінійного об'єкта або меж області. Такий спосіб відображення добре показує поступальний рух окремих об'єктів (таких, як ураган або пожежа) або подій, що мають просторовий розвиток (наприклад, зміна криміногенних зон міста).



Рис. 13.5.2 – Траєкторія руху урагану Irene 28.08.2011 р.

Відображення окремих об'єктів

Для нанесення на карту переміщень окремих об'єктів, представлених точками, таких як ураган або вантажівка, ви наносите положення кожного об'єкта в кожен момент часу. Якщо відстежується поведінка декількох об'єктів, можна позначити їх різними кольорами. Якщо аналізується траєкторія руху об'єкта, накресліть лінію, що сполучає точки його розташування в кожен момент часу. Чим коротшим часовий інтервал, тим точніше лінія представить траєкторію проходження об'єкта. Використання малої кількості вузлових точок або великих інтервалів часу спрощує траєкторію, внаслідок чого дрібні зміни напрямку можуть бути втрачені.

Звичайно, зміни властивостей або розмірів об'єкта показують різними кольорами або символами. Для того щоб показати зміни розміру (наприклад, швидкості вітру урагану), використовують шкалу кольорів або символів. Щоб показати ступінь зміни, на карту наносять точки через рівні проміжки часу. Наприклад, якщо відображаєте розташування урагану кожну годину, легко побачити, де він набирив швидкість, а де знижував. Швидкість зміни можна визначити, вимірявши довжину лінії, що з'єднує точки розташування об'єкта в кожен момент часу, і розділивши її на минулий час. Відобразити швидкість зміни можна, використовуючи під час рисунка ліній, шкалу кольорів або символів. Зрозуміло, цей показник є узагальненим, оскільки об'єкт не обов'язково рухається видимою на карті траєкторією.

Відображення лінійних об'єктів

Лінійні об'єкти часто наносять на карту під час оцінки наслідків подій. Прикладами можуть служити дослідження берегової лінії до та після шторму або гирла річки до та після повені.

Для відображення руху лінійних об'єктів використовують різні кольори для відображення кожного моменту часу або ж робляться відповідні підписи для кожного з них. Можна використовувати кольори або символи для того, щоб показати зміни властивостей або величини об'єкта. Наприклад, різними кольорами можна показати зміни берегової лінії до та після шторму, шкалу символів можна використовувати для відображення змін у дорожньому русі до та після реконструкції.

Відображення безперервних явищ

Для того щоб показати зміну безперервного явища, що займає певну площу, наприклад, лісової пожежі або розливу нафти, викреслюють межі області на кожен момент часу. Якщо необхідно показати й інші об'єкти, наприклад, чи існував раніше рослинний покрив в області, охопленій пожежею, достатньо намалювати лише контури.

Для розрахунку зміни площі об'єкта з часом, наприклад, площі, спаленої за годину пожежі, потрібно розділити різницю у площі на час пожежі. Відображаючи на карті зміни площі за рівні проміжки часу, можна побачити швидкість зміни. Наприклад, якщо нанести на карту межі пожежі кожні шість годин, можна бачити, де і в який бік змінюється швидкість руху вогню.

Відображення подій

Щоб показати тенденцію в розвитку якогось явища, представленого дискретними подіями, використовують різні кольори для кожного періоду часу. Наприклад, можна відображати на карті однотипні захворювання, відзначені кольорами за місяцями їхньої реєстрації, щоб оцінити їхню щомісячну кількість. Таким чином, можна з'ясувати переміщення зони захворювання.

Щоб оцінити наслідки якої-небудь події, відображають події, які виникли до потрібної дати, одним кольором, а події, що відбулися після, – іншим. Наприклад, нанести місця пориву інженерних комунікацій в окрузі одним кольором, а пориви після ремонту – іншим

кольором, щоб побачити, як діяльність, пов'язана з ремонтом комунікацій, змінила свій напрямок.

Щоб показати циклічність змін, відзначте події кольором, що відповідає періоду, коли вони відбулися. Наприклад, ви можете відзначити дзвінки до служби порятунку кольором, який відповідає часу доби, коли вони були зроблені: уранці, удень, увечері або уночі. Однак слід пам'ятати, що відображення більш, ніж шести періодів на карті робить її важкою для сприйняття.

За наявності декількох подій в одній точці (наприклад, дзвінків у службу порятунку з одного будинку) можете використовувати процентну діаграму, щоб показати закономірність появи дзвінків протягом періоду реєстрації уранці, удень, увечері й уночі.

13.5.2 Відображення кількісної оцінки змін

Кількісна оцінка змін полягає в отриманні різниці різночасних значень. Карта кількісної оцінки змін – карта, що відображає об'єкти відповідно до відмінностей значень, отриманих для початкового та кінцевого моментів часу. Нанесення на карту кількісних змін проводиться з метою відображення величини, процентного відношення, ступеня зміни об'єкта або швидкості зміни.

Кількісну оцінку змін можна виконати для дискретних об'єктів, результатів узагальнення за площею, а також безперервних категорій або числових значень.

Відображення змін дискретних об'єктів

При аналізі дискретних об'єктів отримані в підсумку значення зберігаються в таблиці даних шару за принципом: одне значення для початкового моменту часу й одне – для кінцевого. Початкове значення віднімається з кінцевого значення, і різниця записується в новий стовпчик таблиці. Наприклад, при розрахунку зміни обсягу продажів для кожного магазину віднімається кількість продажів 2007 року з кількості продажів 2008. Вираз зміни у відсотках дозволяє зіставити швидше відносні, ніж абсолютні зміни величини. Наприклад, можна розрахувати відсоткову зміну обсягу продажів за дворічний період, щоб оцінити інтенсивність їхнього зростання.

Якщо вимірювання проводяться у фіксованих точках, можна використовувати для представлення змін точкові символи. Окремі

об'єкти зручно відзначати різними кольорами або символами, що відповідають величині розрахованих значень.

Зміни параметрів лінійного об'єкта часто проходять по його довжині. Наприклад, інтенсивність руху змінюються по довжині дороги, концентрація забруднювача – по довжині річки. У таких випадках для відображення величини зміни зручно використовувати шкалу лінійних символів.

Для площинних об'єктів, таких як ділянки землі, використовують шкалу кольорів, яка відповідає величині змін. Наприклад, при відображенні на карті відносної зміни оціночної вартості кожної ділянки землі, використання градації кольорів допомагає зрозуміти, у якому окрузі дані зміни йшли більш інтенсивно.

Відображення змін даних, узагальнених за площею

Оцінка зміни даних, узагальнених за площею, нічим не відрізняється від аналогічної оцінки дискретних об'єктів. Відображені на карті значення також зберігаються в таблиці даних шару. Ви віднімаєте початкове значення від кінцевого, записуючи різницю в новий стовпчик таблиці. Наприклад, при розрахунку змін кількості населення в кожному районі в період від 1990 р. до 2010 р. кількість населення в 1990 р. вираховується з кількості населення в 2010 р. Щоб побачити, який район мав більший відносний приріст, розраховується процентна зміна кількості населення,

Щоб показати зміни одразу для декількох моментів часу можна створити графік тренду для кожного району або одразу для всіх районів, який винести в легенду. Таким чином, можна показати зміну кількості населення районів через кожні п'ять років з 1990 по 2010 рр.

У деяких випадках унаслідок аналізу деякі об'єкти можуть отримати негативні значення приросту. Наприклад, населення в деяких районах може зменшитися. У цьому випадку при створенні карти можна встановити діапазон і символи класу таким чином, що негативні значення позначені на карті одним кольором, а позитивні – іншим, бажано контрастним. Користувачі карти зможуть швидко побачити, де значення зменшилися, а де – збільшилися.

Відображення змін безперервних категорій або класів

Розрахунок змін для таких безперервних категорій, як рослинний покрив, має на увазі зіставлення декількох шарів, кожен з яких представляє свій момент часу. Для того щоб розрахувати зміни в

категоріях або класах безперервних величин, можна нанести на карту тільки ті області, які зазнали змін, розрахувати зміни площі кожної категорії й показати результат у формі таблиці або діаграми.

Створення карти площинних змін виконується з використанням як векторних, так і растрових даних. Використовуючи векторні дані, методом накладання створюєте новий шар, що містить коди вихідних дат. Потім обираєте ті об'єкти, для яких коди не співпадають. Використовуючи растрові дані, ви створюєте новий шар шляхом зіставлення значень комірок двох вихідних шарів.

Розрахунок площинної зміни категорій включає одержання суми площ, які займає кожна категорія, на кожен момент часу. Потім, зв'язавши таблиці за кодом категорії, оцінюють часові зміни площі кожної категорії й заносять їх у новий стовпчик. Можна так само розрахувати відносні зміни у процентах. Цей метод не потребує створення нового шару, що відображає площинні зміни, тому потрібно створити таблицю або діаграму, щоб проілюструвати винесену на карту інформацію.

Для розрахунку відносної зміни площі категорій можна використовувати як векторні, так і растрові дані. При використанні векторних даних ви зіставляєте два шари. Потім створюєте таблицю частоти, заносючи до неї коди категорій на кожен момент часу, і додаєте відповідні площі. Як наслідок з'явиться таблиця, яка показує площинні зміни кожної комбінації початкових і подальших категорій. Після цього кожній комбінації присвоюється своє значення, таблиця частоти з'єднується з таблицею даних шару, і кожна область відбивається на карті відповідно до нового коду. При використанні растрових даних ГІС порівнює два вихідні шари і створює матрицю, що містить комбінацію початкового й кінцевого кодів у кожному осередку області. На карті кожній чарунці призначається колір відповідно до цієї заданої комбінації. Найбільша кількість комбінацій, які рекомендується виносити на карту одночасно – шість.

У деяких випадках можна виявити, що параметри категорій за досліджуваній період змінилися, особливо, якщо ви маєте справу з історично близькими даними або з даними, які спочатку призначалися для інших цілей. У цьому випадку можна використовувати існуючі категорії або ж створити нові, які враховують особливості обох часових зрізів.

Відображення змін безперервних даних

Може виникнути необхідність визначити зміни в безперервних даних, що сталися за певний час. Це можуть бути карти щільності, що відображають, наприклад, щільність злочинів на квадратний кілометр, чи вартість поверхні землі за квадратний метр. Або це можуть бути такі інтерпольовані значення, як розподіл концентрації забруднювача в повітрі за площею, отриманий за даними пунктів відбору проб.

Для створення карти змін між двома поверхнями ви віднімаєте дані шари. ГІС розраховує різницю між кожною коміркою першого шару й відповідного осередку другого. Отримана внаслідок карта показує розподіл інтенсивності змін за площею.

Вибір методу відображення змін

При виборі методу відображення змін можна враховувати наступні рекомендації:

- використовуйте часові ряди, якщо ви хочете показати рух або зміну властивостей об'єкта протягом двох або більше часових відрізків;
- використовуйте карти стеження, якщо ви хочете показати руху об'єкта між двома або більше моментами часу або відобразити періодичність змін;
- кількісну оцінку змін використовуйте тоді, коли хочете показати чисельні відмінності в параметрах об'єкта між двома моментами часу.

13.6 ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПІДГОТОВКИ

- 1) Наведіть формулювання, цілі, набір аналітичних питань аналізу просторових змін.
- 2) Якими бувають типи просторових змін, типи об'єктів просторових змін.
- 3) Опишіть аспекти просторових змін: час спостережень, масштаб і швидкість зміни.
- 4) Схарактеризуйте підходи до аналізу просторово-часових змін.
- 5) Наведіть загальну характеристику інструментів для роботи з просторово-часовими даними.
- 6) Опишіть способи відображення просторових змін на карті з використанням часових рядів.
- 7) Опишіть способи відображення просторових змін на карті з використанням карт стеження.
- 8) Опишіть способи відображення просторових змін на карті з використанням карт кількісної оцінки змін.

14. АНАЛІЗ ПРОСТОРОВИХ ПАТЕРНІВ

14.1 РОЗУМІННЯ ПРОСТОРОВИХ ПАТЕРНІВ

Четвертій категорії задач ГІС-аналізу у формулюванні оригіналу [10] відповідає просторовий запит: які існують просторові патерни? (What spatial patterns exist?).

Патерн – багатозначний термін, значення якого варіюється залежно від галузі знань. Слово "pattern" означає: зразок, модель, шаблон, форма, система, структура, схема, картина, розподіл.

У контексті найважливішої задачі ГІС-аналізу – отримання знання про відносини об'єктів у просторі – для терміна "просторовий патерн" у багатьох випадках доцільно використовувати значення "просторова структура". Термін "структура" походить від латинського structure – будова, розташування, порядок. Структура – сукупність стійких зв'язків системи, яка забезпечує її цілісність і подібність до самої себе, тобто збереження основних властивостей при різних зовнішніх і внутрішніх змінах [2]. Структура – це стійка форма зв'язків між елементами системи.

У низці випадків термін "просторовий патерн" асоціюється з "формою просторового розподілу" об'єктів, порядком, системою розташування, розміщення географічних об'єктів на місцевості.

У таких випадках просторовий запит четвертої категорії задач ГІС-аналізу можна транслювати таким чином: *які просторові структури або форми розподілу існують?* Наприклад, скільки є аномалій, які не відповідають нормальному розподілу, і де вони знаходяться? Який розподіл населення в місті? Які ділянки дороги є найбільш небезпечними? Яким є розподіл вартості нерухомості на території?

У просторовому аналізі виконується процес пошуку, становлення й пояснення географічних структур. Унаслідок процесу описуються й порівнюються просторові структури різних місць. При цьому особливо значущими є два аспекти.

- 1) Який зв'язок між двома або кількома наборами даних, які займають теж місце. Наприклад, ви можете побачити безпосередній зв'язок між висотами різних регіонів і кількістю опадів, які випадають в них.

- 2) Які географічні варіації існують у просторі? Усі географічні явища різняться за своєю інтенсивністю у просторі. Наприклад, розглянемо коефіцієнти народжуваності по всій території окремої країни. В одних районах народжуваність висока, а в інших – низька. Щоб відповісти на це питання повністю, ви маєте описати й пояснити ці структури.

Виділення просторових структур – це складне питання, що вимагає застосування арсеналу потужних засобів просторового аналізу. Виділення структури об'єкта – найважливіший складник вивчення об'єкта як системи. Основні кроки виділення структури наступні:

- 1) виділення безлічі елементів системи;
- 2) визначення просторових розташувань елементів простору;
- 3) виділення зв'язків (відносин) між елементами, які є інваріантними за певних змін системи.

У цій категорії задач ГІС використовується для виявлення зв'язків подій. Наприклад, якщо місця гнізд певного виду становлять інтерес, вони можуть бути придатними для використання в ГІС, щоб зв'язати ці місця гнізд з іншими типами інформації, зокрема, певними типами рослинності, умовами гніздування, віддаленістю від води, рельєфом і т. д.

Вивчення просторових патернів має на меті знаходити певні закономірності в розташуванні об'єктів і причини такого розташування останніх. При виконанні аналізу необхідно визначити:

- територіальне охоплення;
- форму розташування, розподілу об'єктів;
- тип просторових відносин з іншими об'єктами;
- визначають просторові відносини;
- кількісні та якісні значення зв'язків;
- статистичні характеристики структур;
- причини розташування об'єктів.

Слід також зазначити, що зміст аналізу визначається предметною областю й методами самого аналізу.

Аналіз просторових патернів відіграє важливу роль у вирішенні задач у багатьох сферах. Спектр галузей застосування достатньоширокий: містобудування, земельні ресурси, транспортні системи, торгівля, сільське господарство, демографія, навколишнє середовище, корисні копалини, охорона здоров'я, тваринний і рослинний світ. В одних випадках географічні змінні відображаються у вигляді патернів точок, патернів ліній або патернів районів. В інших

випадках патерни становлять безперервне розподіл змінних по області дослідження.

Аналіз просторових патернів має відповідну специфіку в разі подання:

- дискретних географічних об'єктів (точкових, лінійних і полігональних);
- безперервних явищ (полів).

14.2 АНАЛІЗ ПРОСТОРОВИХ ПАТЕРНІВ ТОЧКОВИХ ГЕОГРАФІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

14.2.1 Види просторового розташування точкових об'єктів

Найбільш поширені методи аналізу просторових розподілів застосовуються до патернів точкових об'єктів. Багато точкових об'єктів реального світу зустрічаються у великих кількостях: міста у країні, будинки в місті, тварини на природі, природні області в державі, дерева в лісі, навіть рослини в саду зустрічаються не поодинокі. Не всі вони розподілені рівномірно в межах цих областей. Кожен набір об'єктів має певне просторове розміщення (pattern). Можна помітити, що за особливостями цього просторового розміщення стоять певні процеси, що визначають їх [6].

При вивченні відображення сукупності об'єктів однієї категорії на карті можуть бути виділені наступні види розташування об'єктів:

- 1) згруповане (кластерне) розташування (clustered distribution);
- 2) однорідне розташування (regular, uniform, dispersed distribution);
- 3) випадкове розташування (random distribution).

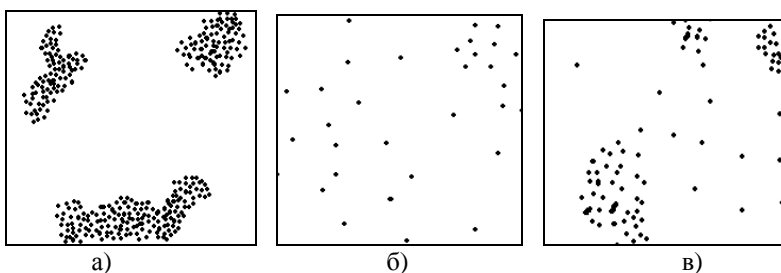


Рис. 14.2.1 – Картини точкових розподілів:
а) згруповане, б) однорідне, в) випадкове

У випадку 1 розташування точкових об'єктів за галузями дослідження має *кластерний патерн* (clustered pattern) – об'єкти розташовуються групами, збираються в тісні групи. Точки можуть становити ділянки економічної діяльності (роздрібної торгівлі та сервісних функцій), які часто групуються навколо таких місць з високою доступністю й високим потенційним прибутком, як вулиці загальноміського значення.

У випадку 2 розташування точкових об'єктів за галузями дослідження має *однорідний патерн* (dispersed pattern) – об'єкти перебувають на однаковій відстані один від одного. Розподіл є рівномірним (uniform distribution), якщо кількість точок на одиницю площі в кожній малій підобласті така ж, як і в будь-якій іншій підобласті. Безліч точок, рівномірно розподілених по всій досліджуваній території, свідчить про систематичний просторовий процес виробництва картини розташування. Якщо точки розташовані у вузлах сітки, розділені однаковими інтервалами по всій області, то рівномірний розподіл називається регулярним (regular distribution), подібно до розглянутої раніше регулярної сітки відбору точок даних на поверхні. Модель володіє регулярним типом просторової організації. Гіпотезою у класичній теорії центрального місця, наприклад, є те, що поселення рівномірно розподілені по всьому ландшафту, щоб краще служити потребам розосередженого (dispersed) сільського населення.

У випадку 3 розташування точкових об'єктів за галузями дослідження має *випадковий патерн* (random pattern) – об'єкти однаково можуть перебувати в будь-якому місці. Просторові структури володіють випадковим характером, відсутністю домінуючої тенденції або кластеризації, або дисперсії. Патерн випадково розподілених точок у просторі логічно припускає, що для його створення працює процес просторово випадкових подій (пуассонівського процес).

Виявлення закономірностей частково залежить і від масштабу карти. Збільшуючи або зменшуючи масштаб, можна побачити нові залежності, нерозрізнені раніше.

14.2.2 Методи аналізу точкових патернів

Розташування точкових об'єктів може утворювати різні проміжні структури (рис. 14.2.2) від кластерного до дисперсного розподілу. Для категоризації точкових патернів, для порівняння різних структур розташування точкових об'єктів потрібен просторовий аналіз точкових патернів.

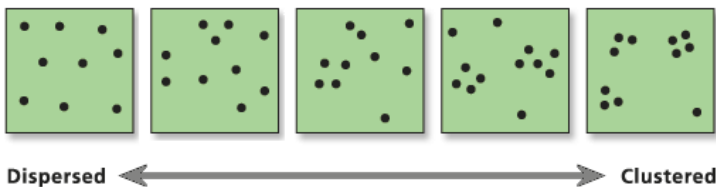


Рис. 14.2.2 – Варіанти розташування точкових об'єктів [14]

Набули поширення [6] наступні методи аналізу точкових патернів:

- аналіз щільності;
- аналіз найближчого сусіда;
- аналіз квадратів;
- аналіз полігонів Тіссена.

14.2.2.1 Аналіз щільності

Найпростішим мірилом точкового розподілу є щільність (density) точок. Вона визначається внаслідок ділення кількості точок на загальну площу, на якій вони розташовані. Щільності населення, забудови, дерев і т. д. широко використовуються в якості *мірил компактності точок*. Порівнюючи щільності подібних об'єктів у різних галузях, можна порівнювати механізми, які діють у цих сферах. При порівнянні точки в тому ж місці, але в різні моменти часу, можна побачити зміни щільності в часі. Наприклад, можна виявити, що щільність населення в міській місцевості змінюється з змінами щільності забудови, або що щільність дерев знижується із їхнім розвитком і зростанням конкуренції за простір і сонячне світло. Навіть цей простий статистичний показник легко вираховується на растрових і векторних даних та може дати безліч корисних ідей.

14.2.2.2 Аналіз найближчого сусіда

Локальні відносини всередині пар точок найчастіше визначаються методом аналізу точкових розподілів, який називають аналізом найближчого сусіда (nearest neighbor analysis). В основу методу покладено процедуру визначення евклідової відстані від кожної точки

до її найближчого сусіда (ВНС) і порівняння цієї величини із середнім відстанню між сусідами. Обчислення цього статистичного показника включає визначення середньої ВНС серед усіх можливих пар точок, що близько лежать (такі точки визначаються як найближчі до обраної точки).

Середня ВНС дає міру розрідженості точок у розподілі. Це цінно само по собі, оскільки в деяких випадках точкові об'єкти можуть конфліктувати, якщо вони розташовані дуже близько один до одного. Наприклад, ми знаємо, що багатьом тваринам потрібен певний життєвий простір, і коли він перетинається з простором іншого представника того ж виду, можливий конфлікт.

Середню ВНС можна порівняти з трьома можливими розподілами: випадковим, регулярним і кластерним. Для кожного з цих випадків обчислюється індекс, із яким можна порівняти результати:

- для критерію випадкового розподілу індекс розподілу обчислюється шляхом ділення одиниці на подвоєний квадратний корінь з щільності точок D (Density):

$$R = 1/2 \sqrt{D}; \quad (14.2.1)$$

- для критерію максимальної неуважності (dispersion) індекс розподілу обчислюється шляхом ділення 1.07453 на квадратний корінь з щільності точок:

$$R = 1,07453 / \sqrt{D}; \quad (14.2.2)$$

- для критерію максимальної групування (абсолютно кластерний патерн), коли точки розташовані біля іншої, мінімальне значення індексу розподілу завжди дорівнює нулю.

Просте порівняння середньої ВНС з трьома індексами дає змогу уявити, у якому місці діапазону вони розташовані.

Розглянемо приклад розташування 6 точок в межах площі в 25 квадратних одиниць, представлений на рис. 14.2.3. Щільність D (кількість точок на одиницю площі) для 6 точок на площі 25 одиниць становить:

$$D = 6/25 = 0,24.$$

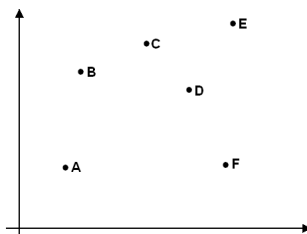


Рис. 14.2.3 – Точки для визначення ВНС [6]

Кожна точка (наприклад, точка А) має свого найближчого сусіда (у цьому випадку – точка В). Відстані визначаються за допомогою теореми Піфагора (табл. 14.2.1).

Таблиця 14.2.1 – Обчислення відстані до найближчого сусіда

Точка	X	Y	Найближчий сусід	ВНС
A	0,7	1,0	B	1,6
B	1,25	3,0	C	1,4
C	2,5	3,7	D	1,3
D	3,3	2,75	C	1,3
E	4,0	4,0	C	1,34
F	3,8	1,0	D	1,5
Сума				8,44
Середня ВНС				1,4
Випадкова середня ВНС				1,02

- Середня ВНС цих даних складає приблизно 1.4.
- Для розподілених випадковим чином даних індекс розподілу R складе:

$$R = 1/2 \sqrt{0,24} = 1,02.$$

У цьому прикладі середнє РБС дещо більше, ніж цей індекс.

- Критерій максимальної розкиданості точок складе:

$$R = 1.07453 / \sqrt{0,24} = 2,19.$$

Таким було й максимальне значення, якщо б наш розподіл точок був ідеально рівномірним.

- Тут середнє ВНС набагато менше за це, але й набагато більше, ніж 0, який відповідає ідеально згрупованому розподілу.

Таким чином, у прикладі розподіл дещо розсіяніш за випадковий або перебуває приблизно між істинно рівномірним і випадковим. Іншими словами, розподіл починає набувати більш регулярну конфігурацію, але поки все ще достатньо випадкове.

ВНС є абсолютним статистичним показником, отже, він не може безпосередньо порівнюватися з ВНС інших точкових розподілів. Індекс найближчого сусідства може бути нормалізований для виконання таких порівнянь.

Існують також і інші методи визначення кластеризації, засновані на інших статистичних показниках.

14.2.2.3 Аналіз квадратів

Набір квадратів, або квадратних чарунок, накладається на досліджувану територію, і визначається кількість точок у кожному чарунку. При цьому важливим є вибір розміру чарунки. Різні розміри чарунки виробляють різні рівні середньої частоти точок і дисперсії на чарунку (рис. 14.2.3).

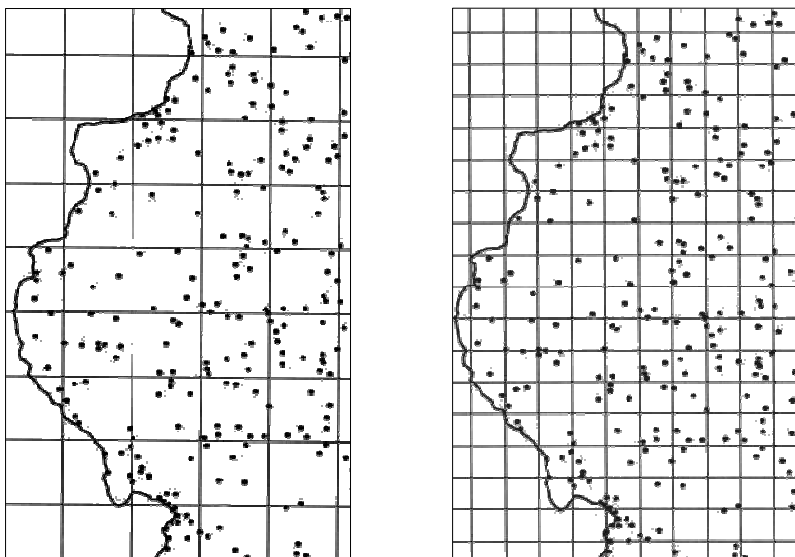


Рис. 14.2.3 – Різні розміри чарунок досліджуваної території [46]

У методі Аналіз квадратів (Quadrat Analysis) підраховується варіабельність (variability), мінливість у кількості точок на осередок. В аналізі квадратів визначається індекс VMR (variance-mean ratio), відомий як відношення дисперсії до середнього, який стандартизує ступінь мінливості в чарунці частоти відносно до середньої частоти чарунки:

$$VMR = \frac{S^2}{\bar{X}}, \quad (14.2.3)$$

де:

n – кількість квадратів,

X_i – кількість точок у i -квадраті,

\bar{X} – середня частота чарунок, що дорівнює середній кількості точок на квадрат (MEAN = mean cell frequency):

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad (14.2.4)$$

S^2 – дисперсія частот чарунок, що дорівнює дисперсії кількості точок на квадрат (VAR = variance of the cell frequencies):

$$S^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}, \quad (14.2.5)$$

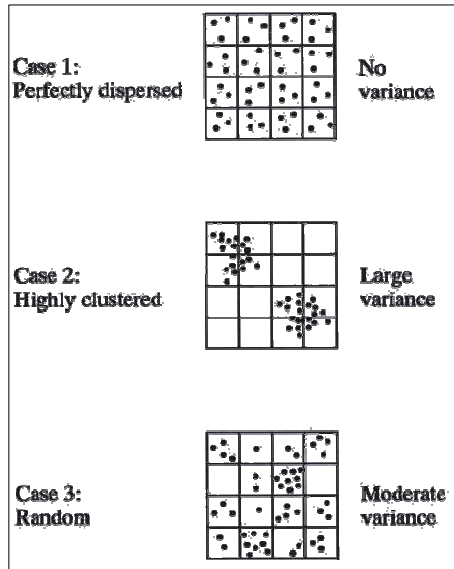


Рис. 14.2.3 – Випадки відмінностей у частотах розподілу точок [46]

Частота розподілу точок може характеризувати наступні випадки (рис. 14.2.3).

- Якщо $VMR < 1$, кожен з квадратів містить однакову кількість точок (випадок 1), патерн указуватиме на те, що немає відмінностей (варіабельності) в частотах від чарунки до чарунки, і розподіл буде

повністю розосередженим, дисперсним (perfectly dispersed). Багато чарунок із майже середньою кількістю точок.

- Якщо $VMR > 1$, існує велика різниця в кількості точок в чарунці для безлічі обстежених квадратів (випадок 2), відмінність (варіабельність) в частотах від чарунки буде більшою, патерн буде відображати кластерне (clustered) розміщення. Багато порожніх чарунок і чарунок із багатьма точками.
- Якщо $VMR = 1$, мінливість клітинних частот помірна (випадок 3), патерн точок відображає випадкове або близьке до випадкового (random) просторове розташування. Деякі чарунки порожні; кілька чарунок з багатьма точками; деякі чарунки з майже середньою кількістю точок.

Ставлення дисперсії до середнього (VMR) можна застосовувати до тесту розподілу для випадковості. Статистика тесту χ^2 (хі-квадрат) визначається як функція VMR і кількості чарунок (m). Тут критерій χ^2 обчислюється як добуток відношення дисперсії до середнього на кількість підобластей за вирахуванням однієї.

$$\chi^2 = VMR * (n - 1). \quad (14.2.6)$$

- Високі значення χ^2 вказують на великий розкид між кількістю точок у кожній області й середнім для всієї області, тобто вказують на те, що ми маємо кластерний (груповий) розподіл.
 - Малі значення χ^2 означають, що розподіл більш рівномірний.
 - Проміжні значення χ^2 вказують на те, що розподіл більш тісно пов'язаний з певним випадковим процесом, у якому квадрати мають дещо більше, а інші – дещо менше число, ніж середнє.
- Для більш певного порівняння мона підрахувати [47] коефіцієнт z:

$$z = \left(\sqrt{\frac{n-1}{2}} \right) (VMR - 1). \quad (14.2.7)$$

Для порівняння визначаються 2 критичні значення для аналізу квадратів – найменше z_L і найбільше z_H .

- Якщо $z < z_L$ і H_0 відбраковується, патерн значно кластеризованіший.
- Якщо $z > z_H$ і H_0 не відбраковується, патерн значно однорідніший.
- Якщо z між z_L і z_H і H_0 відбраковується, патерн значно випадковіший.

Поширений метод аналізу дискретних зоологічних і агрономічних даних спирається на рівномірність точкового розподілу. Точками тут можуть бути окремі рослини, мурашники й т. д. Якщо кожен квадрат

містить приблизно однакову кількість точок, то розподіл рівномірний. Якщо розподіл дійсно рівномірний, то ми можемо припустити, що немає істотного механізму, що керує розташуванням об'єктів.

У стандартному методі аналізу квадратів для рівномірного розподілу передбачається, що приблизно одна й та ж кількість об'єктів перебуватиме в кожній підобласті, дорівнюватиме кількості об'єктів, поділений на кількість підобластей. Для перевірки рівномірності розподілу може використовуватися відносно простий статистичний показник, який називається критерієм χ^2 (хі-квадрат) і виражається формулою:

$$\chi^2 = S [(Q - E) / E], \quad (14.2.8)$$

де Q – спостережувана кількість точок у квадраті, E – очікувана кількість точок у квадраті; підсумовування проводиться за всіма квадратами.

Результат цього обчислення можна порівняти з табуйованими критичними величинами. Якщо отримане число мало відрізняється від очікуваного, то розподіл є рівномірним; помітна відмінність свідчить про певну нерівномірність, що може означати наявність якогось процесу, який лежить в основі нерівномірності.

Хоча цей метод може вважатися суто статистичним, він може бути реалізований у деяких ГС, особливо в растрових. Зараз же достатньо пам'ятати: *чим більше значення χ^2 , тим нижча рівномірність розподілу.*

Як і раніше, результати аналізу вказують на те, що якщо розподіл не є статистично випадковим (тобто якщо воно або рівномірний, або кластерний), то можна спробувати визначити можливу причину, розумно вибравши набір показників для порівняння з точковим покриттям. Наприклад, рівномірність розподілу може бути регулярною, як плодове дерева в саду, або випадковою, що більш властиво деревам у лісі. У першому випадку в кожній підобласті зустрічатиметься однакова кількість точок, у другому випадку ця кількість будуть різнитиметься.

14.2.2.4 Аналіз полігонів Тіссена

Точкові розподіли можуть також характеризуватися за допомогою полігонів Тіссена, діаграм Діріхле та діаграм Вороного. Вони засновані

на ідеї, що можна наростити полігони навколо точок, щоб показати їхні можливі зони впливу на інші точки покриття. Кожна точка оточена одиночним неправильним багатокутником. Багатокутник має одну важливу властивість – будь-яка точка всередині нього розташована ближче до окресленої точки, ніж будь-яка інша точка покриття. І навпаки, кожна точка поза полігоном ближча до деякої іншої, ніж до окресленої. Іншими словами, межа кожного полігону дає навколишній точці найменшу можливу область впливу. Кожна точка покриття буде мати власний полігон Тіссена, що показуватиме область виключно її впливу.

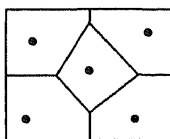


Рис. 14.2.4 – Полігони Тіссена

Аналіз точкового розподілу можна виконати за статистичними характеристиками площ для полігонів Тіссена. Наприклад, при роботі з моделлю гравітації можна вважати, що між точками діють сили тяжіння. До того ж, розмір точки, наприклад, міста, часто безпосередньо пов'язаний із силою такого впливу. Більшість випадків застосування полігонів Тіссена пов'язане з визначенням впливу точкових даних, що становлять торгові центри, фабрики чи інші об'єкти економіки. Якщо ми змінимо положення спільної межі суміжних полігонів залежно від розміру або іншого параметра окреслюваних ними точок, то отримане розбиття ще краще уявлятиме реальний вплив об'єктів на навколишній простір. Маючи таку інформацію, фахівець з економічного розміщення може визначити, наприклад, яка частина населення міста (на основі близькості), швидше за все, буде регулярно відвідувати планований торговий центр. Полігони Тіссена використовуються не тільки в економічній географії, але й, наприклад, при виявленні просторових розподілів рослинності.

14.2.3 Аналіз просторових відносин з іншими об'єктами

Закономірності розташування об'єктів однієї категорії, виявлені на карті, часто визначаються просторовими відносинами з іншими об'єктами. Об'єкти певної категорії можна згрупувати відповідно до об'єктів іншої категорії у вигляді:

- лінійного розташування – розташування об'єктів має лінійну форму;
- прикордонного розташування – об'єкти розташовані біля меж полігональних об'єктів;
- концентрованого розташування – розташування об'єктів відносно центру тяжіння.

Прикладами можуть бути пункти роздрібного продажу, банки й підприємства сфери обслуговування, згруповані вздовж головних магістралей та місць перетину вулиць. Або, наприклад, розташування шкіл щодо житлових районів.



Рис. 14.2.5 – Лінійна форма розташування транспортних засобів уздовж головних магістралей і вулиць, що їх перетинають [36]

Можна знайти пояснення побаченим закономірностям, ґрунтуючись на відомому уявленні про це місце або подібні місця. Наприклад, карта міста показує, що структури багатьох міст подібні. Центральна частина – громадська, ділова, комерційна зона; прилегла до неї частина – промислова; далі – багатосімейні житлові будинки, на околицях – приватні житлові будинки; потім – сільгоспугіддя. Така закономірність розвитку характерна для більшості міст.

Закономірності, виявлені на карті, можуть пояснити, чому предмети розташовані там, де розташовані. Наприклад, спостерігається добре виражена закономірність розподілу рослинних формацій, пов'язана з впливом висот рельєфу на умови росту різних видів рослинності.

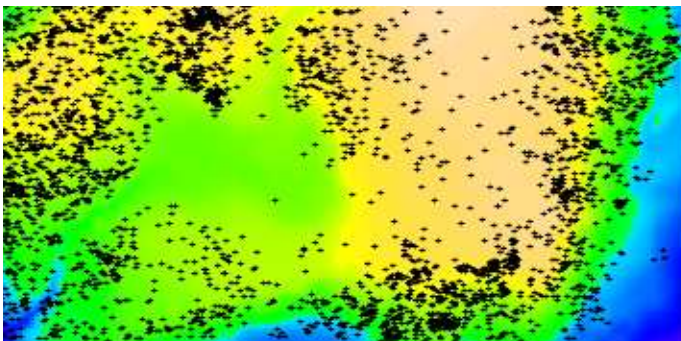


Рис. 14.2.6 – Місцерозташування 3600 дерев і грид висот [48]

Закономірність може визначатися декількома факторами. Наприклад, на карті торгові точки розташовані трохи ближче 2 км одна від одної, з чого можна припустити, що торговельна область для кожного магазину обмежена радіусом 2 км. Усі торговельні точки розташовані на головних вулицях. Щоб з'ясувати інші чинники, що визначають це розташування, необхідно вивчити щільність населення в цій області, специфіку кожного магазину й т. д.

Розглядаючи карту, можна просто відстежувати одночасно декілька залежностей. Однак, з'ясувати, чи є приховані закономірності в розподілі даних або визначити їхню значущість, можна тільки з використанням статистики, яка дозволяє кількісно оцінити зв'язки між об'єктами. Це можна робити, наприклад, у наукових дослідженнях.

14.3 АНАЛІЗ ПРОСТОРОВИХ ПАТЕРНІВ ЛІНІЙНИХ ОБ'ЄКТІВ

Ми зустрічаємо лінійні патерни постійно, але часто і пропускаємо їх, відзначає Майкл Н. Демерс в роботі [6]. Вулиці й шосе утворюють впізнаваний патерн, який ми відносимо до мереж, створених людиною для переміщення людей і речей між просторово розподіленими точками, що називаються містами. Нам зустрічаються огорожі, що також мають певні конфігурації й кількості залежно від розмірів полів, ділянок, форм полігонів, які вони оточують. Смуги на відкритих ділянках корінної породи показують паралельні лінії переміщення каменів під льодовиком, що проходив тисячі років тому. Механізми, що викликали створення кожного з цих лінійних патернів,

найкраще можна зрозуміти, якщо ми, перш за все, визначимо конкретні параметри відповідних розподілів.

Оскільки лінії, на відміну від точок, мають просторову протяжність, аналіз їхніх розподілів дещо складніший. Одні дослідники вивчали розподіл довжин ліній, інші – розглядали інтервали між лініями подібно до аналізу найближчого сусіда в точкових розподілах. Тут розглянуті наступні засоби аналізу просторових патернів лінійних об'єктів [6]:

- щільність ліній;
- відстані до найближчих сусідів, інтервали перетину ліній, заходи розташування ізоліній;
- спрямованість лінійних об'єктів;
- зв'язність лінійних об'єктів;
- модель гравітації.

14.3.1 Щільність ліній

Найпростіша міра розподілу ліній – щільність ліній. Для визначення щільності P одновимірних ліній можна використовувати відношення суми їхніх довжин d до площі S покриття:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{S}. \quad (14.3.1)$$

Щільність ліній можна виразити, наприклад, у метрах на гектар або кілометрах на квадратний кілометр. Щільність ліній регіону можна порівнювати з аналогічними величинами для інших регіонів або для того ж регіону в інші моменти часу.

14.3.2 Відстані до найближчих сусідів, інтервали перетину ліній, міри розташування ізоліній

Відстані до найближчих сусідів

Розподіл пар ліній мена визначити подібно до операцій із точками, хоча обчислення дещо ускладнюються, оскільки, на відміну від точок, лінії мають розмірність. Може здатися, що слід просто вибрати центр кожної лінії і провести аналіз найближчого сусіда для цих точок.

Однак, унаслідок того, що лінії мають різні довжини, ця процедура не дасть нам правдивої картини розподілу самих ліній.

Із точки зору статистики часто вважається корисним робити випадкову вибірку. Відповідно цього підходу першим завданням в аналізі найближчих сусідів серед лінійних об'єктів буде вибір випадкової точки на кожній лінії карти (або на кожному сегменті лінії, якщо вони непрямі). Далі, опускається перпендикуляр з цієї точки до найближчої лінії (рис. 14.3.1). Потім вимірюється відстань до найближчого сусіда (ВНС) і підраховується середня ВНС. Як із усіма ВНС, ми мусимо мати можливість оцінити цю величину відносно до випадкового розподілу. Можна визначити значення для очікуваних ВНС, дисперсії та стандартні помилки випадкового розподілу ліній. Ці величини дозволяють нам порівняти очікуване і спостережуване, а також створити статистичний показник, за яким можна протестувати гіпотезу про випадковість.

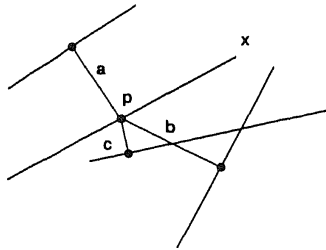


Рис. 14.3.1 – Пошук найближчого сусіда між лініями з використанням випадково обраної точки на одній з них [6, с. 336]

Цей критерій працює для більшості розподілів ліній, якщо вони прямі або зігнуті, але має й деякі обмеження. Якщо лінії дуже звивисті, цей підхід – менш ніж успішний. Крім того, щоб критерій був корисний, лінії мають бути щонайменше в півтора рази довше середньої відстані між ними. Якщо кількість ліній у покритті мала, оцінка щільності, використовувана в аналізі найближчого сусіда, має бути скоригована ваговим коефіцієнтом $(n-1)/n$:

$$P = \frac{(n-1) \sum_{i=1}^n d_i}{nS}, \quad (14.3.2)$$

де n – кількість ліній розподілу. Ця скоригована щільність ліній поліпшить якість статистики найближчого сусіда.

Інтервали перетину ліній

Метод перетину ліній є альтернативою при аналізі розподілу ліній. Один підхід полягає в тому, щоб перетворити двомірний патерн на одновірну послідовність рисуванням вибіркової лінії через карту і врахувати перетин цієї лінії з лініями покриття. Існують щонайменше два способи створення таких ліній. Перший – випадково вибрати пару точок і з'єднати їх лінією. Другий метод полягає у проведенні променя з випадкової точки під випадковим кутом, відкладанні випадкової відстані від початкової точки і проведенні перпендикуляра до променя з цієї точки. Після того, як лінія проведена, можна розглянути розподіл інтервалів між її перетинами з лініями покриття з використанням стандартних методів аналізу наборів даних.

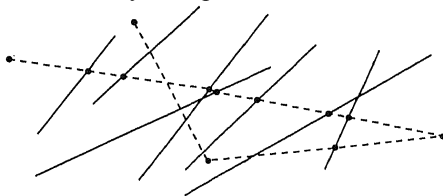


Рис. 14.3.2 – Метод випадкового обходу для оцінки розподілу ліній [6, с. 337]

Альтернативою одиночної лінії є зигзагоподібна, яка перетинає покриття два або три рази. Зигзагоподібний шлях, який називають випадковим обходом (random walk), також створить серію перетинів, відстані між якими можна також проаналізувати будь-яким статистичним методом для послідовностей даних (рис. 14.3.2).

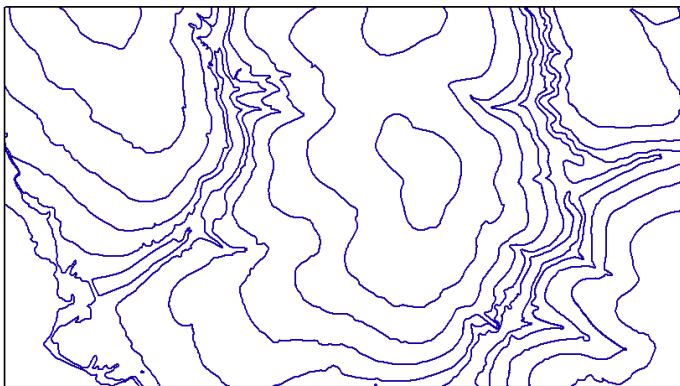


Рис. 14.3.3 – Патерн ізоліній

Міри розташування ізоліній

Метод ізоліній застосовується при картографуванні природних і соціально-економічних явищ. Ізолінії – лінії рівного значення якої-небудь величини на географічній карті. Ізолінії характеризують безперервні явища в деякий період або момент часу. Можуть бути використані для отримання їхньої кількісної характеристики й аналізу кореляційних зв'язків між ними.

Горизонталі – ізолінії на карті, що з'єднують точки земної поверхні з однаковими висотами і разом із останніми передають форми рельєфу за однакового перевищення між горизонталями. Патерн горизонталей дозволяє читати властивості рельєфу.

Мірами розташування ізоліній можуть бути:

- характеристика крутизни схилу – ухил або кут схилу; чим ближче розташовані горизонталі, тим крутіший схил, і навпаки, чим далі, тим пологіший схил;
- ступінь звивистості горизонталей вказує про характер поверхні (гладенька, шорстка або горбиста);
- форма розташування горизонталей:
 - рівновіддалені горизонталі свідчать про рівномірний розподіл, однорідне розташування;
 - аномалії, концентрації горизонталей становлять згруповане (кластерне) розташування;
 - наявність різних форм розподілу горизонталей означає випадкове розташування.

14.3.3 Спрямованість лінійних об'єктів

Лінійні об'єкти можуть характеризуватися орієнтацією. Такі об'єкти, як осадові нашарування, гирла льодовиків, огорожі, мережі вулиць, звалені вітром дерева у лісі, мають певну орієнтацію, яка часто вказує на силу, що породила їх.

При аналізі орієнтації може виникнути ситуація вибору між двома зустрічними напрямками. Якщо лінійний об'єкт є вулицею з одностороннім рухом, то орієнтація її самої не вказує нам напрям, в якому повинен рухатися транспорт. Тому, крім орієнтації, потрібно знати і про спрямованість (directionality). Ми можемо також розглядати розподіл лінійних об'єктів або як двовимірних, або як тривимірних, з урахуванням кутового напрямку відносно поверхні сфери. Для простоти тут обмежимося лише першими.

У традиційному статистичному аналізі орієнтації ліній з карти переносяться на діаграму напрямків (rose diagram), де всі вони виходять із однієї початкової точки. На деяких діаграмах напрямків довжиною ліній також зображують параметри об'єктів, такі як сила вітру або довжина огорожі.

Розглянемо спочатку рівнодіючий вектор (vector resultant). Як приклад для демонстрації двовимірного аналізу напрямків візьмемо велику кількість дерев, повалених прямолінійним вітром. Кожне дерево може бути відображено як лінійний об'єкт покриття, при цьому записуються координати вершини й кореня кожного дерева, даючи нам орієнтацію кожного дерева (рис. 14.3.4). Карта показує загальну тенденцію і деякі відхилення від неї. Метеорологи хочуть з'ясувати загальний напрям вітру по поваленим деревам, але ці дерева не мають єдиної для всіх орієнтації, тому нашою першочерговою задачею є визначення рівнодіючого вектора повалених дерев.

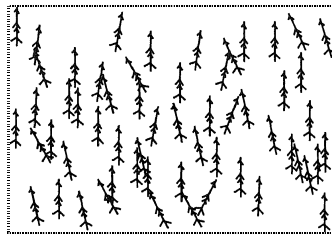


Рис. 14.3.4 – Розподіл напрямків повалених дерев [6, с. 338]

З кожним деревом асоціюється вектор з початком у корені дерева, довжиною і кутом α у бік вершини. За ним вираховують складові dx , dy . Для обчислення рівнодіючого вектора складаємо ці величини для кожного складника. Отримані значення рівнодіючого вектора dX і dY показують переважаючий напрям вершинних точок дерев. Рис. 14.3.4 показує рівнодіючий вектор R , отриманий для трьох вихідних векторів A , B і C . Довжина рівнодіючого вектора (resultant length) може бути визначена за формулою:

$$R = \sqrt{(dX^2 + dY^2)}. \quad (14.3.3)$$

Середній напрямок A можна визначити виходячи з рівнодіючого вектора за формулою:

$$A = \arctan (dY/dX). \quad (14.3.4)$$

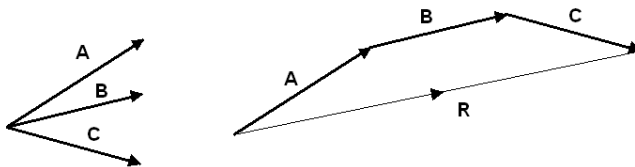


Рис. 14.3.4 – Рівнодіючий вектор R для близькоспрямованих вихідних векторів

Оскільки середній напрямок векторів залежить не тільки від розкиду дерев, але й від числа спостережень, можна нормалізувати ці величини поділом координат кожного рівнодіючого вектора на число лінійних об'єктів покриття. Це дозволить порівнювати дві різні області, наприклад, дві області повалених дерев на предмет загального напрямку вітру.

Як і з будь-яким набором точок, де середня величина слугує мірою центральної тенденції даних або тенденції даних групуватися навколо деякої центральної точки, можна використовувати середній вектор для отримання інших статистичних показників, які визначають розкид від нього. Рис. 14.3.5 показує випадок рівнодіючого вектора R для вихідних векторів, які широко розходяться від одного напрямку. Коли вектори розташовані близько до одного напрямку, рівнодіючий вектор буде довгим, тоді як при широко розкиданих вихідних векторах – значно коротшим. Таким чином, ми маємо не тільки середній напрямок, але й міру компактності розподілу: чим компактніший розподіл, тим довша ця лінія.

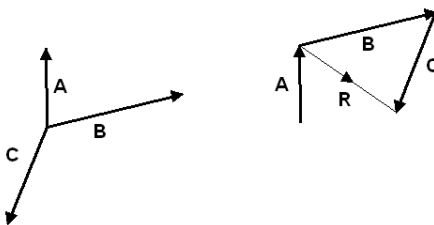


Рис. 14.3.5 – Рівнодіючий вектор R для різноспрямованих вихідних векторів

Для порівняння довжини рівнодіючого вектора в даному місці з іншим місцем, слід нормалізувати дані. Нормалізована довжина рівнодіючого вектора отримується шляхом розподілу довжини рівнодіючого вектора R на суму довжин векторів, що утворюють його.

Це безрозмірна величина в діапазоні від 0 до 1, що нагадує дисперсію в традиційній статистиці, бо є мірою просторового розкиду навколо середнього значення. Великі значення відповідають ближчій орієнтації векторів, менші – більшому розкиду. Поряд з цією величиною можна використовувати також й протилежну їй величину, так звану кругову дисперсію (circular variance), яка дорівнює одиниці мінус нормалізована довжина рівнодіючого вектора.

Є ще одна проблема, пов'язана з орієнтацією та напрямком. Як відомо, одні лінійні об'єкти можуть мати певний напрям (дерева), інші ж не мають (лісозахисні смуги), хоча певна орієнтація присутня в обох випадках. Для цього є рішення: при подвоєнні значення кута, незалежно від вихідного напрямку, записується одне і те ж значення. Припустимо, маємо об'єкт, орієнтований з північного заходу (315°) на південний схід (135°). Після подвоєння отримаємо: $315^\circ \times 2 = 630^\circ$ ($630^\circ - 360^\circ = 270^\circ$) і $135^\circ \times 2 = 270^\circ$. Ці прості заходи спрямованості й розкиду допомагають характеризувати розподіл всередині покриття і порівняти їх з даними інших покриттів у пошуках причинних механізмів.

14.3.4 Зв'язність лінійних об'єктів

Важливим аспектом просторового розташування ліній є їхня здатність утворювати мережі. Мережі мають найрізноманітніші форми як природні, так і створені людиною. Серед них: автомобільні та залізничні дороги, телефонні лінії, річки, навіть лісозахисні смуги можуть відігравати роль мережі, що дозволяє дрібним ссавцям переміщуватися по ландшафту; список можна продовжати. Ви напевно стикалися з ситуаціями, коли в місті немає прямої дороги від місця до місця, і доводиться їхати об'їзним шляхом. Тут ми стикаємося з браком зв'язності (connectivity) в мережі.

Зв'язність є мірою складності мережі. Є кілька методів для визначення цієї характеристики [6]. Найбільш загальними є гамма-індекс (γ – gamma index) і альфа-індекс (α – alpha index).

Гамма-індекс

Гамма-індекс γ є відношенням числа існуючих зв'язків між парами вузлів мережі L до максимально можливого числа зв'язків у тому ж наборі вузлів L_{\max} :

$$\gamma = L / L_{\max} . \quad (14.3.5)$$

Для цих обчислень найкраще підходить векторно-топологічна модель даних. Число зв'язків однозначно визначається числом вузлів V . Наприклад (рис. 14.3.6):

- якщо є три вузли, то можливі лише три зв'язки;
- якщо додається ще один вузол, то можна додати ще три зв'язки; та всього їх буде шість.

Таким чином, якщо не утворюються нові перетини, то максимальне число зв'язків буде кожен раз збільшуватися на три. З урахуванням цього можна прийти до висновку, що в загальному випадку максимальне число зв'язків буде обчислюватися за формулою:

$$L_{\max} = 3 (V - 2). \quad (14.3.6)$$

З урахуванням цієї залежності гамма-індекс буде визначатися за формулою:

$$\gamma = L / 3 (V - 2). \quad (14.3.7)$$

Гамма-індекс набуває значення від 0 (немає жодного зв'язку) до 1 (всі можливі зв'язки присутні). Більша кількість зв'язків у мережі полегшує пересування по ній, що важливо, наприклад, для фахівців з транспортного планування. Наприклад, на рис. 14.3.6 показані два варіанти мережі з 16-ма вузлами:

а) є 15 зв'язків, що утворюють зв'язність $\gamma = 15/3 (16 - 2) = 0,36$;

б) є 20 зв'язків, тому $\gamma = 20/3 (16 - 2) = 0,48$.

Іншими словами, перша мережа зв'язана приблизно на третину, а друга – наполовину.

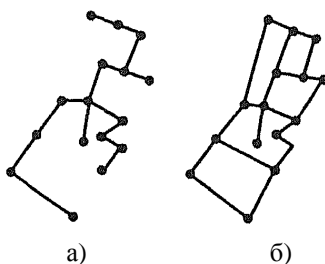


Рис. 14.3.6 – Дві різні мережі на основі одного набору вузлів: а) із мінімальною зв'язністю і без контурів, б) із більшою зв'язністю й контурами, що дають альтернативні маршрути переміщення мережею

Важливою характеристикою мереж, крім зв'язності, є наявність у ній контурів, що дозволяють переміщуватися від вузла до вузла різними маршрутами. У якості прикладу можна навести кільцеві автодороги довкола великих міст, які дозволяють знизити навантаження транзитного транспорту на вуличну мережу.

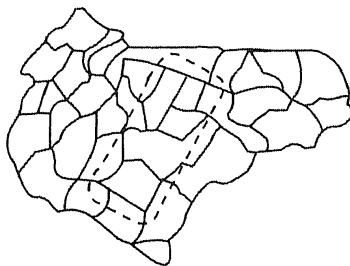


Рис. 14.3.7 – Контури мережі

Альфа-індекс

У якості міри з'єднуваності вузлів контурами альтернативних маршрутів (circuitry) використовується так званий альфа-індекс (α). Він визначається як відношення наявної в мережі кількості контурів до максимально можливої кількості контурів K_{\max} у цій мережі:

$$\alpha = K / K_{\max} . \quad (14.3.8)$$

Відомо, що мережа без контурів має зв'язків на один менше, ніж кількість вузлів:

$$L = V - 1. \quad (14.3.9)$$

Додавання будь-якого зв'язку створює контур. Кількість наявних контурів можна визначити за формулою:

$$K = L - (V - 1) . \quad (14.3.10)$$

Оскільки максимальна кількість зв'язків у мережі визначається як $3(V - 2)$, а мінімальна (без втрати зв'язності) – як $V - 1$, то максимальна кількість контурів буде такою:

$$K_{\max} = 3(V - 2) - (V - 1) = 2V - 5. \quad (14.3.11)$$

Звідси, альфа-індекс визначається за формулою:

$$\alpha = (L - (V - 1)) / (2V - 5) \quad (14.3.12)$$

Діапазон значень альфа-індексу – від 0 (мережу без контурів) до 1 (мережа з максимальною кількістю контурів).

Наприклад, на рис. 14.3.6 а) наведена мережа, у якій 16 вузлів і 15 зв'язків. Вона володіє мінімальною зв'язністю в тому сенсі, що в ній наявна найменша можлива кількість зв'язків за заданій кількості вузлів, при чому кожен вузол має щонайменше один зв'язок. Для мереж на рис. 14.3.6 а) й 14.3.6 в) альфа-індекс буде дорівнювати відповідно:

$$\alpha = (15 - 16 + 1) / (2 \times 16 - 5) = 0;$$

$$\alpha = (20 - 16 + 1) / (2 \times 16 - 5) = 0,19.$$

Таким чином, у мережі на рис. 14.3.6 а) є тільки один варіант для переміщення з однієї точки в іншу, а на рис. 14.3.6 б) можливі кілька альтернативних маршрутів різної довжини.

Оскільки для створення контурів потрібне додавання нових зв'язків, цілком можливо розглядати альфа-індекс як альтернативну міру зв'язності. Але тому що ці два індекси дають різні погляди на мережу, доречніше об'єднати їх певним чином для створення загальної міри складності мережі (network complexity). Для обчислення цих індексів потрібне використання векторної ГІС. Ця вимога підкреслюється тією обставиною, що вся ця статистика має топологічну основу теорії графів, де набагато важливішою є зв'язність вузлів, ніж їхнє розташування, або довжини та форми ліній, що пов'язують їх.

Для транспортного моделювання потрібно знати більше, ніж просто параметри зв'язності. Тут мають значення довжини зв'язків між вузлами, можливі напрямки руху цими лініями, значення опору руху (імпедансу). До того ж існують і інші прості індекси, що прийшли з теорій транспортування і зв'язку, які також характеризують зв'язність мереж. Наприклад, можливе визначення інтенсивності зв'язності (linkage intensity) для кожного вузла, кількості альтернативних маршрутів між заданими вузлами, пошук центрального вузла (central place), тобто такого, який має найбільшу кількість зв'язків, а також можлива побудова регіонів на основі зв'язності й доступності. І все це можна поєднувати один з одне і з іншими характеристиками ліній – розташуванням, орієнтацією, дисперсією – для отримання більш повної картини мережі.

14.3.5 Модель гравітації

Звернемо увагу на значущість окремих вузлів, яка може бути неоднаковою. Наприклад, великі міста порівняно із дрібними дають більше можливостей для покупок, для відвідування виставок, концертів, спортивних змагань і т. д. Тому вони залучають більше людей. Велике озеро приваблює більше водоплавних птахів, ніж маленький ставок.

Обидва приклади показують, що більш великі об'єкти привертають більшу активність, людську або пташину. Розмір такого тяжіння може виявлятися подібно до гравітаційного тяжіння тіл, що володіють масою. Чим більша маса, тим більша сила тяжіння між ним і його сусідами.

Переносячи ідею гравітаційного тяжіння на взаємодію між вузлами покриття ГІС, ми отримаємо модель гравітації (gravity model), яка в загальному вигляді виражається залежністю:

$$L_{ij} = KP_iP_j/d^2, \quad (14.3.7)$$

де:

L_{ij} – величина взаємодії між вузлами i та j ;

P_i – величина вузла i ;

P_j – величина вузла j ;

d – відстань між вузлами;

K – константа, обумовлена природою взаємодіючих об'єктів.

Величини вузлів можуть бути представлені такими їхніми параметрами, як потреба у продукції, обсяг роздрібних продажів торговельних центрів міста, площа поверхні водойми для водних птахів.

Чим більші величини вузлів, тим більша сила взаємодії між ними. Зі зростанням відстані між вузлами сила взаємодії зменшується. На прикладі міста можна сказати, що чим більше місто, тим більш воно привабливе для торгівлі. Із другого боку, якщо місто розташоване далеко від вас, навряд чи ви до нього поїдете, навіть, не зважаючи на можливу вигоду від угоди.

Існує багато варіантів цієї простої моделі тяжіння між точками як у растрових, так і у векторних системах. Більшість із них використовується для економічного аналізу розміщення об'єктів і для іншого застосування. Дослідники можуть використовувати їх для опису пасажиропотоку між містами, обсягу телефонних викликів, потоків птахів і насіння, яке поширюються птахами між ділянками лісу. Загалом будь-які потоки між вузлами різної величини можуть аналізуватися з застосуванням моделі гравітації.

14.4 АНАЛІЗ ПРОСТОРОВИХ ПАТЕРНІВ ПОЛІГОНАЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ

14.4.1 Види просторових патернів полігональних об'єктів

Просторові патерни географічних об'єктів і явищ часто є результатом фізичних і культурно-людських процесів, що відбуваються на поверхні Землі. Просторовий патерн є статичною концепцією; патерн тільки показує, як географічні об'єкти поширені в

цей момент часу. Просторовий процес є динамічною концепцією, тому що він відображає та пояснює, як поширення географічних об'єктів призводить до існування і може змінюватися з плином часу [49].

Просторовий полігональний патерн (як і точковий патерн) можна взагалі категорувати як кластерний (clustered), розосереджений (dispersed) або випадковий (random).

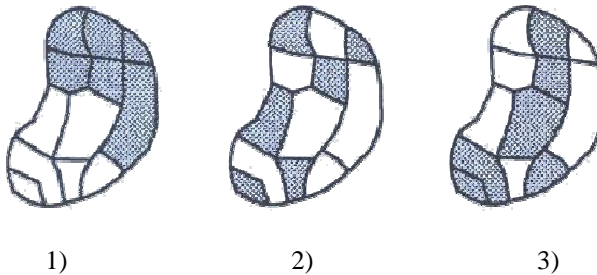


Рис. 14.4.1 – Види просторового розташування полігональних об'єктів [49]

Види просторового розташування полігональних об'єктів, наведеного на рис. 14.4.1, можна характеризувати наступним чином:

- у разі 1 кластерного розташування темні полігони становлять певні характерні прояви концентрації;
- у разі 2 дисперсного розташування темні полігони, здається, розташовані рівномірно;
- у разі 3 випадкового розташування полігони не становлять особливої систематичної структури або механізму управління дисперсним розміщенням полігонів.

Розташування полігональних об'єктів може утворювати різні проміжні структури від кластерного до дисперсного розподілу (рис. 14.4.2).

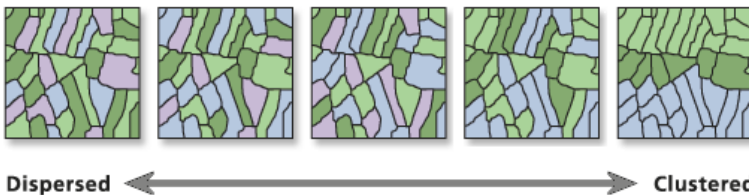


Рис. 14.4.2 – Види просторового розташування полігональних об'єктів [14]

Площинні об'єкти можуть бути з'єднані один з одним або видалені на деяку визначену відстань.

Для однозначної категоризації полігональних патернів, для порівняння різних структур їхнього розташування потрібен просторовий аналіз полігональних патернів. Нас може цікавити розташування та форми розподілів, створювані групами полігонів, які можуть підказати причини таких розташувань. Прикладами потенційно взаємодіючих полігонів можуть бути міста, селища та переміщення товарів і послуг всередині таких і між ними. Але перед тим, як розглядати взаємодії полігональних об'єктів, потрібно дізнатися, як вони можуть бути розташовані.

Просторовий аналіз полігональних патернів не доцільно виконувати методами просторового аналізу точкових патернів. Так, наприклад, для визначення міри щільності полігонів спочатку слід виміряти площу полігонів кожного класу, що цікавлять нас. Потім розділити сумарну площу кожного типу полігонів на загальну площу покриття. Це дає відносну частку полігонів, а не їхню кількість на одиницю площі. Можливий підрахунок кількості полігонів (або груп чарунок растра) на одиницю площі, але через можливість широкого варіювання їхніх площ цей підхід навряд чи буде корисним.

14.4.2 Просторова залежність і просторова автокореляція

Просторова залежність

Поверхня Землі видається майже неймовірною різноманітністю – від пейзажів Тибетського плато до пустель Австралії та міських складнощів Лондона або Токію. Не зважаючи на просторові неоднорідності, будь-хто, вивчаючи поверхню Землі докладно, буде вражений тим, що умови здебільшого зберігаються локально, і що не можна розділити поверхню на регіони, які демонструють істотну внутрішню схожість. Наприклад, пустельні райони характеризуються відсутністю опадів, вологі тропічні ліси – рясними опадами та густою рослинністю, а полярні регіони – сильним холодом. Умови у близьких точках не становлять незалежного зразка і випадковості глобального розподілу; замість цього вони показують чудові рівні взаємозалежності. Звичайно, є винятки, коли умови змінюються дуже швидко на коротких відстанях, наприклад, між рівнинами Індії й

високими Гімалаями, чи між прибережними та суміжними з океаном рівнинами [19].

Загальний термін для позначення цього явища – *просторова залежність*. Просторова залежність є ключовою концепцією для розуміння й аналізу патернів просторових явищ. Цю концепцію географ Уолдо Тоблер (Waldo R. Tobler) озвучив як перший закон географії: "*усе пов'язано з усім іншим, але поруч речі більш пов'язані, ніж віддалені речі*" [50]. Просторова залежність присутня в кожному напрямку. Вона стає слабшою збільшенням дисперсії в даних локалізації.

Узагальнюючи можна сказати, що більшість пригод, природних чи соціальних, пов'язані відносинами, які залежать від відстані. Що цей принцип означає? Якщо ми виявимо, забруднення навколишнього середовища на місці в озері, достатньо імовірно, що поблизу цього зразка розташовані також забруднені місця. Або, що присутність дорослого дерева гальмує розвиток інших, таким чином гальмування зменшується з відстанню, і за межами певного радіусу будуть знайдені інші великі дерева. Наслідки спостережень Тоблера є глибокими. Якби це було не так, весь комплекс умов у будь-якому місці поверхні Землі у принципі можна знайти упакованим у будь-якій невеликій ділянці.

Просторова автокореляція

Величине просторової залежності можна виміряти за допомогою низки статистичних даних про *просторову автокореляцію*. Термін "просторова автокореляція" походить від статистичної концепції кореляції, що використовується для вимірювання відносин між двома випадковими величинами. Прийменник "auto" означає, що вимірювання кореляції проводиться з тією ж самою випадковою величиною в різних місцях у просторі. Якщо є систематичний характер у просторовому розподілі змінної, його можна пов'язувати з просторовою автокореляцією.

Уважається, що в *часових* даних наявна серійна автокореляція, коли близькі за часом значення більш схожі одне на одного, ніж далеко віддалені одне від одного в часі. У *просторових* же даних існує просторова автокореляція, якщо виміряні поблизу одне від одного значення більш схожі, ніж далеко рознесені у просторі. Можна виміряти подібність або відмінність будь-якої пари сусідніх полігонів або полігонів у межах цього району. Подібності та відмінності наводяться для всієї просторової структури, вимірюючи величину просторової автокореляції чи просторової залежності.

Ступінь просторової автокореляції залежить від структури розташування у просторі різних полігонів:

- якщо суміжні полігони або розташовані поблизу більш схожі або мають близькі значення, має місце позитивна (сильна) просторова автокореляція, яка формує кластерний патерн;
- якщо суміжні полігони або розташовані поблизу не схожі або не мають близьких значень, наявна негативна (слабка) просторова автокореляція, яка формує дисперсний патерн;
- якщо немає систематичного характеру у просторовому розподілі змінної, просторова автокореляція дуже мала або взагалі відсутня, просторовий розподіл полігонів становить випадкового патерна;

Чому просторова автокореляція важлива? Більшість статистик ґрунтується на припущенні, що значення спостережень у кожному зразку незалежні один від одного. Позитивна просторова автокореляція може порушити це, якщо зразки були взяті з прилеглих областей. Визначення просторової автокореляції має такі цілі: 1) виміряти силу просторової автокореляції за картою, 2) перевірити припущення про незалежність або випадковість.

Просторова автокореляція це як концептуально, так і емпірично, двовимірний еквівалент надмірності. Вона визначає екстент, у якому відбувається подія, яка укладена в полігональну одиницю або яка робить більш імовірним настання події в сусідніх полігональних одиницях.

У ГІС просторова автокореляція використовується для статистичного описового вимірювання як значення атрибута географічно пов'язаних об'єктів, що змінюється залежно від відстаней і напрямків між ними. Для оцінки просторової автокореляції використовують різні показники; усі вони засновані на тій же ідеї: перевірити, як просторова залежність змінюється шляхом порівняння значень зразка і його сусідів.

Поширення знаходять наступні засоби статистики просторової автокореляції:

- матриця близькості (Proximity matrix) – для даних відносин і інтервальних даних;
- статистика з'єднань (Join Counts Statistic) – для бінарних номінальних даних;
- індекс I Морана (Moran's I) – для інтервальних або відносних даних;
- коефіцієнт C Гірі (Geary's C) – для інтервальних або відносних даних.

14.4.3 Матриця близькості полігонів

Матриця близькості полігонів створюється на підставі простих характеристик розташування полігонів – мір близькості полігонів. Для побудови матриці близькості в якості елементів використовуються наступні міри близькості розташування полігонів: найближчий сусід, найближчий центроїд, найближча відстань.

- *Найближчий сусід.* Для полігона X розрізняють сусідів першого порядку (у напрямку ходів тури в шахах) та сусідів високого порядку (у напрямку ходів королеви в шахах).
- *Найближчий центроїд.* Є кілька способів виміряти відстань між будь-якими двома полігонами. Поширеною практикою є використання центроїда багатокутника, що становить полігон. Існують різні способи визначення центроїда полігона. Взагалі форма полігона впливає на розташування його центра тяжіння. Полігони з незвичайної форми можуть генерувати центроїди, розташовані в небажаних місцях.
- *Найближча відстань.* Один зі способів визначити відстань між будь-якими двома об'єктами залежно від відстані їхніх найближчих частин. Особлива ситуація з відстанню найближчих частин складається, коли два об'єкти примикають один до одного і відстань між двома об'єктами дорівнює 0.

За елементами в матрицях близькості часто визначають вагу при розрахунку просторової статистики автокореляції або у просторових моделях регресії. У таких випадках матрицю близькості полігонів можна використати для визначення вагової матриці.

14.4.4 Статистика з'єднань

При роботі з полігональними покриттями можна створювати бінарні карти (binary maps), на яких є тільки дві категорії полігонів, що характеризують певний показник як хороший чи поганий для шуканого рішення. Наприклад, можуть бути погані й хороші ґрунти для просапних культур, хороші й погані ухили для будівництва, хороші й погані аспекти для встановлення сонячних батарей. Можливість визначення розподілів деяких з цих показників може бути корисною, тому що необхідно розміщувати будинки, рослини або сонячні батареї однією великою групою (що характерно для кластерних розподілів), а не розрізнено. Виявлення розподілу таких об'єктів певної галузі, як розмиті поверхні, смітна рослинність або

типи заселення корисне для з'ясування якої-небудь можливої причини утворення спостережуваних прикладів.

Прості заходи розташування полігонів найближчому околі, що визначаються як умова контакту полігональних об'єктів один з одним, не дають уявлення про патерни, утворені цими полігонами. Для цього застосовується статистичний показник – *статистика з'єднань* (Join counts). Тут з'єднання – це загальна межа двох суміжних полігонів. Статистика з'єднань підраховує кількість з'єднань у полігональному розподілі та характеризує структуру з'єднань кожного покриття.

Статистика з'єднань не пов'язана тільки з бінарними картами, але оскільки вони краще їх ілюструють, і відносно просто перейти від багатокатегоріальних карт до бінарних (що є звичайною практикою), ми обмежимося тільки випадком бінарних полігональних карт.

У якості прикладу на рис. 14.4.3 показані різні просторові патерни 64 полігональних об'єктів: 32 білих (white – W) і 32 чорних (black – B) полігонів [51]. Спільні кордони між суміжними полігонами утворюють 112 з'єднань.

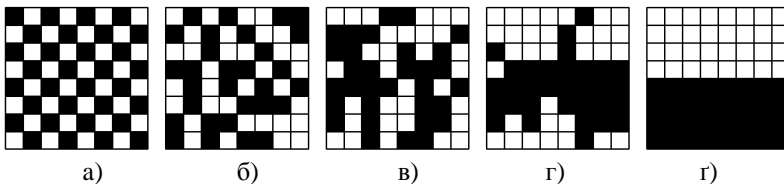


Рис. 14.4.3 – Просторові патерни полігональних об'єктів

У таблиці 14.4.1 представлені значення статистик з'єднань виду BW, BB, WW й міри просторової автокореляції *I* Морана (Moran's I) для відповідних просторових патернів на рис. 14.4.3.

Таблиця 3.4.4.1 – Значення статистик з'єднань

Розташування полігонів	а)	б)	в)	г)	г)
I	- 1,000	- 0,393	0,000	+ 0,393	+ 0,857
BW, n	112	78	56	34	8
BB, n	0	16	30	42	52
WW, n	0	18	26	36	52
BW, %	100,0	69,6	50,0	30,4	7,1
BB, %	0,0	14,3	26,8	37,5	46,4
WW, %	0,0	16,1	23,2	32,1	46,4

На підставі статистики з'єднань, наведеної в таблиці 14.4.1, просторовий патерн ілюструє:

- а) крайню негативну автокореляцію між полігонами; тут більшість з'єднань між полігонами різних класів $BW = 112$, тобто спостерігається розосереджене (dispersed) розташування полігонів;
- б) розосереджене розташування полігонів;
- в) просторову незалежність, якщо автокореляція близька до 0; числа з'єднань однорідних полігонів низькі $WW = 26$, $BB = 30$, а число різнорідних з'єднань $BW = 56$ становить майже половину дисперсного розподілу; таким чином, тут має місце випадковий (random) розподіл полігонів; це проміжний випадок між випадками а) і г);
- г) кластерне розташування полігонів;
- д) крайню позитивну автокореляцію; кластери полігонів утворюють гомогенні, однорідні регіони; тут мало різнорідних з'єднань $BW = 8$, більшість білих полігонів $WW = 52$ з'єднані один із одним, і більшість заштрихованих полігонів $BB = 52$ також з'єднані один із одним; таким чином, тут полігони згруповані, і патерн категоризований як кластерний (clustered).

Тепер звернемося до питання про використання результатів цього виду аналізу. Але як насправді порівняти результати аналізу однієї бази даних із тим, на що можна було б очікувати при кластерному, випадковому й дисперсному розподілах? Нас переважно цікавить випадковість, вона говорить про те, що розташування полігонів, швидше за все, не залежить від будь-якої причини. І навпаки, у двох інших випадках така причина напевне існує.

При аналізі точкових розподілів для оцінки випадковості використаний критерій χ^2 . Але цей показник має на увазі, що відомо, яким має бути очікуваний розподіл в умовах випадковості. Але як можна дізнатися очікуваний розподіл з'єднань полігонів, із яким можна порівняти наявні значення? Є два підходи для визначення очікуваної частоти з'єднань полігонів.

Перший підхід, що називається *вільним відбором* (free sampling), припускає, що ми можемо визначити очікувану частоту з'єднань всередині категорій і між ними або на основі теоретичного знання модельованої ситуації, або виходячи з відомих розподілів для великих областей дослідження.

- У першому випадку (на основі теоретичного знання), наприклад, можна знати, що внаслідок певних зональних положень у місті

торгові центри або об'єкти промисловості зустрічаються з певною регулярністю порівняно з іншими типами землекористування. І тоді можна порівняти ці розподіли з регулярністю торгових областей в іншому місті, щоб побачити, використовується таке ж зонування або інше, що призводить до істотно іншого розподілу торгових центрів і об'єктів промисловості порівняно з іншими типами землекористування.

- У другому випадку (при використанні відомого розподілу на більшій досліджуваній області) можуть бути виконані подібні ж порівняння. Наприклад, нам відомий розподіл полігональних з'єднань нашого округу з аналізу сільськогосподарських культур. Тоді можна розглянути розподіл їх в окремому приміському районі й порівняти кількість з'єднань у цій підобласті з кількістю з'єднань для всього округу, щоб побачити, чи є схожість.

Другий підхід, що називається невилним відбором (nonfree sampling), застосовується частіше. Він не робить теоретичних припущень про розподіл і не покладається на порівняння чисел з'єднань підобласті й усієї області. У ньому порівнюються числа з'єднань оціночного випадкового розподілу з числом з'єднань спостережуваного розподілу полігонів. Іншими словами, ми створюємо випадковий розподіл, виходячи тільки з самих полігонів. Тоді можемо порівняти наявні результати з випадковим розподілом, маючи на увазі відхилення від випадковості, що говорять про дію деякого причинового механізму.

14.4.5 Індекс І Морана

Статистичний індекс *I* Морана (Moran's *I*), розроблений Патріком Мораном (Patrick AP Moran) в 1950, залишається де-факто стандартом міри просторової автокореляції.

Просторова автокореляція – характеристика кореляції між суміжними місцями у просторі. Просторова автокореляція є комплексною порівняно з одномірною кореляцією, оскільки остання кореляція багатовимірна (тобто 2 або 3 вимірювання у просторі) і багатоспрямована.

Індекс *I* Морана – міра глобальної просторової автокореляції, яка визначається за формулою:

$$I = \frac{n}{W} \frac{\sum \sum w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum (x_i - \bar{x})^2}, \quad (3.4.4.1)$$

де

n – кількість полігонів у досліджуваному регіоні;

x_i – значення інтервальної або відносної змінної для полігона i ;

x_j – значення інтервальної або відносної змінної для полігона j ;

\bar{x} – середнє значення інтервальної або відносної змінної x для всіх полігонів;

w_{ij} – елемент матриці просторових ваг для пари полігонів i, j ;

W – сума всіх елементів матриці просторових ваг:

$$W = \sum \sum w_{ij}. \quad (3.4.4.2)$$

Значення індексу I Морана перебувають у діапазоні від -1 до $+1$. Негативні значення вказують на негативну просторову автокореляцію; позитивні значення – на позитивну просторову автокореляцію. Нульове значення вказує на випадковий просторовий патерн. Очікуване значення індексу I при нульовій гіпотезі відсутності просторової автокореляції визначається залежністю:

$$E(I) = \frac{-1}{n-1}. \quad (3.4.4.3)$$

Для тестування статистичних гіпотез індекс I Морана може бути трансформований у міру Z , у якій значення більше ніж $+1,96$ або менший ніж $-1,96$ вказують на просторову кореляцію більшу за 5 % рівня.

14.4.6 Коефіцієнт C Гірі

Коефіцієнт C Гірі (Geary's C) – міра локальної просторової автокореляції. Ця статистика була розвинена Роем Гірі (Roy C. Geary). Коефіцієнт C Гірі визначається за формулою:

$$C = \frac{(n-1)}{2W} \frac{\sum \sum w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum (x_i - \bar{x})^2}. \quad (3.4.4.4)$$

Значення коефіцієнта C Гірі перебуває у діапазоні від 0 до 2. Нуль означає відсутність просторової автокореляції. Значення менше 1 вказують на позитивну просторову автокореляцію. При $C = 0$ має місце ідеальна позитивна просторова кореляція. Значення більше 1 свідчать про негативну просторову кореляцію. При $C = 2$ має місце ідеальна негативна просторова кореляція.

Для тестування статистичних гіпотез коефіцієнт C Гірі може бути трансформований у міру Z .

Індекс I Морана зворотний коефіцієнту C Гірі, але не ідентичний. Індекс Морана застосовується для більш глобальних показників у той час, як коефіцієнт Гірі більш чутливий до відмінностей у невеликому okolí. Глибший розгляд мір просторової автокореляції I Морана і C Гірі виходить за межі вступного курсу основ ГІС-аналізу.

14.5 АНАЛІЗ ПРОСТОРОВИХ ПАТЕРНІВ БЕЗПЕРЕРВНИХ ЯВИЩ

14.5.1 Безперервні явища, або поля

Безперервні явища, або поля (continuous field), характеризують територію в цілому, а не окремі об'єкти. Безперервними є фізичні та соціоекономічні явища, наприклад, поверхні, опади, температура, тиск, щільність населення, які можуть вимірюватися в будь-якому місці території і характеризувати її в цілому. Безперервність явищ виявляється в тому, що не можливо вказати проміжки на площі поширення явищ, у яких би вони були відсутні.

Безперервні географічні об'єкти моделюються поверхнями. Безперервні об'єкти заповнюють усю поверхню; їх можна трактувати як властивості простору або самої модельованої поверхні.

Поверхні у свою чергу формують патерни. Таким чином, вивчення та аналіз патернів безперервних явищ має на меті вивчення їх властивостей.

Багато патерн, які не є очевидними у вихідних даних, можна отримати з існуючої поверхні шляхом виконання аналітичних операцій. До них належать затінений рельєф, ізолінії, кут схилу, аспект, відмивання, напрямок стоку, кривизна й виїмки / насипи. Ці топографічні похідні дають можливість ефективно зв'язати дані в

реальному світі місцевості та проаналізувати, як зміни в топографії вплинуть на задачі.

14.5.2 Моделі представлення поверхонь

Поверхня (surface) – це об'єкт 3-вимірному простору, який становить безперервно розподілені значення Z в області, визначеній значеннями абсцис x і ординат y . Поверхня – це шматок площини, підданий безперервним перетворенням.

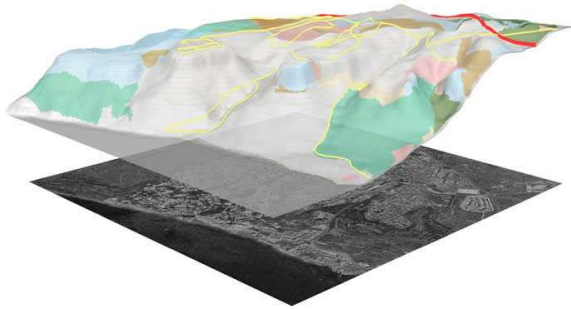


Рис. 14.5.1 – Тривимірна модель земної поверхні [Kingston Centre for GIS]

Подання поверхні у своїй простій формі здійснює зберігання x , y і Z значень, з яких x , y визначають місце розташування зразка, а значення Z становить зміни властивостей. Поверхні можна представляти:

- векторними моделями:
 - масивами точок;
 - ізолініями;
 - триангульованими нерегулярними мережами;
- растровими моделями:
 - ґрідами.

Точкові моделі поверхні (Points) становлять точкову дискретизацію безперервної поверхні. Утворюючи поверхню дані подаються у вигляді регулярної або нерегулярної сітки. Регулярна сітка зазвичай призводить до надмірності даних на ділянках з мінімумом інформації й їхньої нестачі в місцях, які потребують високої детальності. Нерегулярна сітка може підвищити точність відображення й роздільну здатність моделі поверхні.

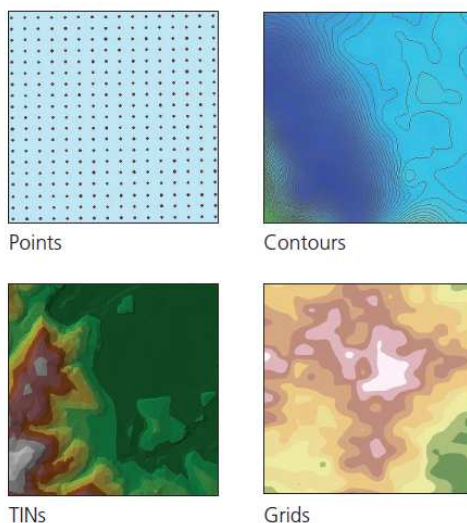


Рис. 14.5.2 – Методи представлення поверхні [52]

Ізолінії та горизонталі (Contours) використовуються для визначення загальних властивостей вздовж лінії. Ізолінія – це полілінія, що з'єднує точки з однаковим значенням Z (наприклад, висоти, температури, опадів, забруднення або атмосферного тиску). Розподіл таких поліліній визначає поширення значень на поверхні. Там, де значення змінюється повільно, ізолінії перебувають далеко одна від одної. Там, де значення змінюється різко, ізолінії наближаються один до одного. Горизонталі корисні для представлення рельєфу, оскільки вони дозволяють одночасно визначати пологі та круті схили (за відстанню між ізолініями) і гірські хребти й долини (сходження й розходження ізоліній). Наприклад, може знадобитися знання рівня земної поверхні у визначених точках і вивчення загальної висотної картини земної поверхні.

Триангульована нерегулярна мережа (TIN) становить структуру векторних даних, використовувану для зберігання й відображення моделі поверхні. TIN розділяє географічний простір за допомогою набору нерегулярно розташованих точок даних, кожна з яких має x -, y - й Z -значення. Ці точки з'єднані ребрами, які формують безперервні трикутники, які не перекриваються, і створюють безперервну поверхню, яка представляє місцевість.

Грид (ESRI Greed) – це структура ESRI просторових даних, яка визначає простір у вигляді масиву чарунок однакового розміру, які розташовані в рядках і стовпчиках. У разі ґрид-представлення поверхні кожна чарунка містить значення атрибута Z . Розташування чарунок у географічному просторі відходить від свого положення щодо початку ґрида.

Ґрид-уявлення поверхні вважається *функційною поверхнею*, тому що для будь-якого місця x, y він зберігає тільки одне значення Z предметної області (безперервного явища). Функціональні поверхні безперервні, оскільки для будь-якого x, y має місце одне й тільки одне значення Z , незалежно від напрямку, з якого x, y наближаються до точки. Функційні поверхні є 2,5-вимірними поверхнями, а не 3-вимірними. У них значення Z – це атрибут, а не третя координата у списку координат.

Функційні поверхні використовуються для представлення:

- 1) поверхні місцевості (terrestrial surface), яка зображує земну поверхню, наприклад, цифрова модель рельєфу (digital elevation models – DEM);
- 2) математичної поверхні (mathematical surface), заснованої на математичних виразах;
- 3) статистичної поверхні (statistical surface) – поверхні зі статистичними значеннями параметра Z , наприклад, демографічними та іншими типами даних.

14.5.3 Розуміння інтерполяції поверхонь

Моделювання поверхні – вирішення задачі інтерполяції значень, отриманих у точках спостережень зі значеннями x, y, Z . Вихідними даними для створення безперервних (або прогнозованих) поверхонь є значення дискретних точок вибірки.

Інтерполяція – це процедура, використовувана для прогнозування значень чарунок у місцях, які не мають точок заміру. Вона заснована на принципі просторової автокореляції чи просторової залежності з вимірюванням ступеня відношення / залежності між ближніми й дальніми об'єктами.

Просторова автокореляція визначається, якщо значення взаємопов'язані. Якщо значення взаємопов'язані, вона визначає просторовий патерн. Ці кореляції використовуються для вимірювання:

- подібності об'єктів в області;

- ступеня, з яким просторові явища корелюють із собою у просторі;
- рівня взаємозалежності між змінними;
- природи (сутності) і сили взаємозалежності.

Для створення ґрида поверхні розроблено декілька інструментів інтерполяції. Є безліч способів, щоб отримати прогноз для кожного місця, і кожен метод розглядається в якості моделі. У кожній моделі є різні припущення про створення даних, а також про призначення деяких моделей для застосування в конкретних умовах, наприклад, одна модель може бути причиною локального зміни краще, ніж інша. Кожна модель дає передбачення за допомогою різних розрахунків.

Існують дві категорії методів інтерполяції: детермінований і геостатистичний.

- *Детерміновані* методи інтерполяції поверхонь засновані на вимірних точках або математичних формулах.
- *Геостатистичні* методи інтерполяції засновані як на статистичних моделях, що враховують автокореляції, так і на математичних функціях. Геостатистичні методи використовуються для більш просунутих моделей передбачення поверхні, які також включають певний ступінь впевненості й точності прогнозів.

Характеристики інтерпольованої поверхні можна контролювати шляхом обмеження вхідних точок, використовуваних для розрахунку значень вихідної чарунки. Це може бути зроблено за рахунок обмеження кількості точок замірів або області, з якої беруться точки вимірів. Зазначення максимальної кількості точок вибірки використовуватиме точки, найближчі до місця вихідної чарунки, поки буде досягнуто максимальну кількість чарунок. Крім того, вказівка фіксованого радіуса в одиницях карти дозволить вибирати тільки вхідні точки в радіусі віддалення від центру вихідної чарунки, якщо немає достатньої кількості точок у межах цього радіусу.

При генеруванні поверхні також можна враховувати бар'єри, які відображають лінії розлому, скелі, річки та інші просторові об'єкти, які створюють лінійний розрив у поверхні. Багато інструментів інтерполяції включають бар'єри, які визначають і управляють поведінкою поверхні у плані плавності й безперервності. Бар'єри необхідні, тому що іноді операції інтерполяції не мають бути виконані через просторові об'єкти, такі як лінії розлому, дамби, скелі та струмки, які створюють лінійний розрив на поверхні. За допомогою бар'єрів зміни в поведінці поверхні можна описати й посилити.

Більшість методів інтерполяції можна розділити на два головні типи – на *глобальну і локальну інтерполяцію* щодо вибраних точкових даних. Глобальна інтерполяція використовує всі відомі точки вибірки

для оцінки значень в інтерпольованій місцях. Локальна інтерполяція використовує точки вибірки в околі для оцінки значень в інтерпольованих місцях.

Методи інтерполяції можуть також бути класифіковані як *точні* або *неточні*. Використовуючи точну інтерполяцію, прогнозовані значення в точках, для яких значення даних відомі, будуть відомими значеннями. Неточні методи інтерполяції не пов'язані цим обмеженням, тобто значення спостережуваних даних й інтерпольовані значення для цієї точки не обов'язково ті ж самі. Різні методи інтерполяції майже завжди дають різні результати.

Побудовані поверхні згодом використовуються в ГІС-моделюванні та аналізі поряд з їх тривимірною візуалізацією.

14.5.4 Методи інтерполяції поверхонь

Останнім часом придатність ГІС для просторової інтерполяції поліпшуються шляхом інтеграції передових методів у ГІС, а також шляхом зв'язування ГІС з системами, призначеними для моделювання, аналізу та візуалізації безперервних полів.

З безлічі існуючих методів інтерполяції тут представлені ті, які набули поширення в ГІС-застосунках. В ArcGIS геопроектинг містить наступні інструменти Spatial Analyst для інтерполяції поверхонь:

- обернено зважені відстані (IDW);
- природній окіл (Natural Neighbor);
- тренд (Trend);
- сплайн (Spline);
- крігінг (Kriging);
- топо в растр (Topo to Raster).

14.5.4.1 Метод "Обернено зважені відстані"

Метод "Обернено зважені відстані" (Inverse Distance Weight – IDW) виходить з припущення, чим ближче одна до іншої розташовані точки вимірювань, тим більше вони схожі, тим більший їхній взаємний вплив. Метод IDW визначає значення чарунки з використанням лінійно-зваженого поєднання безлічі точок вибірки. Вага, яка призначається, є функцією відстані входної точки від місця вихідної чарунки: чим більша відстань, тим менша вага значень.

Для точного опису топографії для чарунки, значення якої не виміряне, потрібно вибрати точки оточення, які демонструють цю

подібність поверхні. Оскільки більш близькі значення мають бути більш схожими, на розрахунок значення чарунки вони чинитимуть більший вплив, ніж далекі значення.

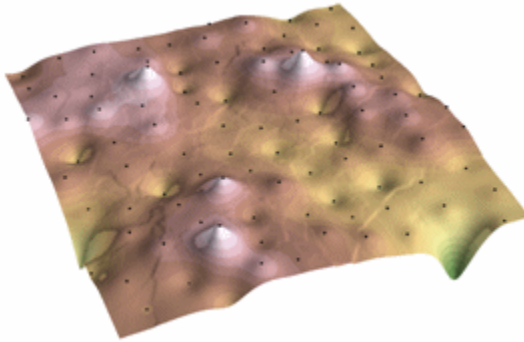


Рис. 14.5.2 – Патерн поверхні, інтерпольованої методом IDW [14]

Інтерполяційний процес виконується для кожної чарунки в досліджуваній області. Інтерполяційний процес включає наступні кроки.

- 1) *Визначення області пошуку.* Для визначення околу кожної чарунки задається радіус пошуку, який може бути постійним або змінним. При фіксованому радіусі пошуку використовуються точки, які потрапили всередину радіусу. При змінному радіусі пошуку задається кількість точок, використовуваних для обчислення інтерпольованої чарунки. Пошук виконується до досягнення заданої кількості вхідних точок, що робить радіус пошуку різним для кожної чарунки.
- 2) *Обмеження кількості вхідних точок.* Властивостями інтерпольованої поверхні можна також управляти за рахунок обмеження кількості вхідних точок, використовуваних для розрахунку кожного значення чарунки виводу. Обмеження кількості входів може підвищити швидкість обробки. Слід також уважати, що вхідні точки, далекі від місця передбачення, можуть мати погану просторову кореляцію або відсутність останньої.
- 3) *Використання бар'єрів.* Бар'єр – це полілінія, яка використовується в якості структурної лінії, яка обмежує пошук точок вхідної вибірки. Полілінії можуть представляти скелі, гребені або інші розриви в ландшафті. Звичайний процес інтерполяції не може поширюватися через такий бар'єр. У цьому випадку будуть враховані тільки ті точки вхідної вибірки на одному боці бар'єра, де розташована поточна чарунка обробки.

- 4) *Обчислення відстані d між кожною парою точок і від кожної початкової точки.*
- 5) *Розрахунок значення Z у кожній точці залежно від відстані у ступені p (за замовчуванням $p = 2$) за формулою:*

$$Z(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n [Z_i / d_i^p]}{\sum_{i=1}^n [1 / d_i^p]} . \quad (14.5.1)$$

Таким чином, поруч розташовані точки матимуть більший вплив, а поверхня буде більш детальною (менш згладженою).

Таблиця 14.5.1 – Приклад розрахунку значення Z

Точка	Значення Z_i	Відстань d_i	Вага $1/d^2$	Вага * Значення Z_i/d^2
A	100	4	0,0625	6,25
B	160	3	0,1111	17,76
C	200	2	0,2500	50,00
			0,4236	74,01
x,y	175=74,01/0,4236			

3.4.5.4.2. Метод "Природний окіл"

Метод інтерполяції "Природний окіл" (Natural Neighbor) використовує середньозважене значення локальних даних, яке засноване на концепції координат природного околу, обумовленого полігонами Тіссена. Рівняння, використовуване в інтерполяції природного околу, ідентичне тому, яке використовується при інтерполяції методом IDW. Алгоритм методу інтерполяції природного околу знаходить підмножину вхідної вибірки до запитуваної точки й застосовує ваги до їхніх значень, які залежать від площ відповідних природних околиць. Метод інтерполяції місцевий, він використовує підмножину вибірки навколо оцінюваної чарунки. Поверхня проходить через вхідні зразки і є гладкою скрізь, за винятком місць вхідних зразків.

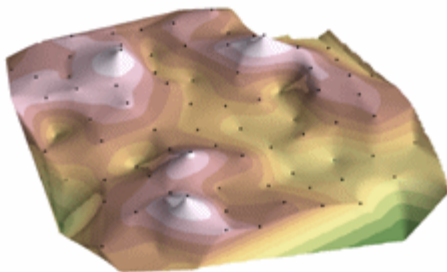


Рис. 14.5.3 – Патерн поверхні, інтерпольованої методом Natural Neighbor [14]

Метод інтерполяції природної околиці (Natural Neighbor) має низку позитивних властивостей: метод може ефективно працювати з великими наборами вхідних точок; може бути використаний як для інтерполяції, так і для екстраполяції, і взагалі добре працює з кластерами розподілених точок.

14.5.4.3 Метод "Тренд"

Метод "Тренд" (Trend) – це глобальна поліноміальна інтерполяція, яка становить загальні тенденції зміни поверхні в різних напрямках. Поверхня тренда відповідає гладкій поверхні, визначеній математичною функцією (поліномною) до точок вхідної вибірки. Поверхня тренда змінюється поступово й захоплює великомасштабні патерни в даних.

Цей метод використовує набори точок у межах заданого кола, за якими будується поверхня найкращого наближення на основі математичних рівнянь типу поліномів або сплайнів. Ці рівняння є нелінійними залежностями, які апроксимують криві або інші форми числових послідовностей.

Метод Тред мінімізує відхилення поверхні відносно вхідних значень. Поверхня будується так, що для кожної вхідної точки, загальна кількість відмінностей між фактичними значеннями й розрахунковими (наприклад, дисперсії) буде якомога меншою. Для побудови поверхні найкращого наближення, кожне зі значень околиці підставляється в рівняння. Із рівняння виходить одне значення та присвоюється точці, яка інтерполюється. Процес триває для інших цільових точок.



Рис. 14.5.4 – Патерн поверхні, інтерпольованої методом Trend [14]

Тип використовуваного рівняння (ступінь полінома) визначає звивистість поверхні. Чим вищий порядок полінома, використовуваного для зображення поверхні, тим більше її коливань можна врахувати.

- Поверхня тренда першого порядку визначається поліномом:

$$Z(x_i, y_i) = b_0 + b_1 x_i + b_2 y_i + \varepsilon(x_i, y_i). \quad (14.5.2)$$

- Поверхня тренда другого порядку визначається поліномом:

$$Z(x_i, y_i) = b_0 + b_1 x_i + b_2 y_i + b_3 x_i^2 + b_4 y_i^2 + b_5 x_i y_i + \varepsilon(x_i, y_i). \quad (14.5.3)$$

- Поверхністю тренда третього порядку визначається поліномом:

$$Z(x_i, y_i) = b_0 + b_1 x_i + b_2 y_i + b_3 x_i^2 + b_4 y_i^2 + b_5 x_i y_i + b_6 x_i^3 + b_7 y_i^3 + b_8 x_i^2 y_i + b_9 x_i y_i^2 + \varepsilon(x_i, y_i). \quad (14.5.4)$$

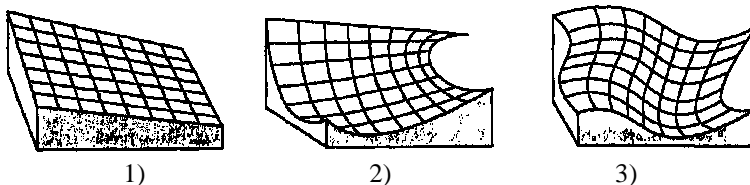


Рис. 14.5.5 – Поверхні тренда першого, другого і третього порядків [6]

На рис. 14.5.5 схематично представлена поверхня тренда:

- першого* порядку виглядає як площина, яка проходить під деяким кутом по всьому покриттю, тобто має тенденцію в одному напрямі;
- другого* порядку має один вигин;
- третього* порядку має більше одного вигину.

3.4.5.4.4. Метод "Сплайн"

Метод "Сплайн" (Spline) – це метод оцінки значень, що використовує математичну функцію, яка мінімізує в цілому кривизну поверхні. Це призводить до гладкої поверхні, яка проходить точно через вихідні точки. Він може передбачити хребти й долини в даних і є кращим методом для представлення плавно мінливою поверхні явищ, таких як температура.

Математичний сплайн використовує поділ кривої на ділянки, де точки прикладання сил розділяють область визначення кривої на відрізки. На кожному такому відрізку сплайн становить параболу третього ступеня.

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d . \quad (14.5.4)$$

Параболи всіх відрізків разом утворюють гладку безперервну криву.

Базисний сплайн (В-сплайн) будують стандартним чином на регулярній мережі. В-сплайни забезпечують безперервність поля з точністю до другої похідної включно. В особливих випадках переходять до базису зі сплайнів п'ятого ступеня, але це може призвести до появи зайвих "хвиль" на поверхні, які моделюється.

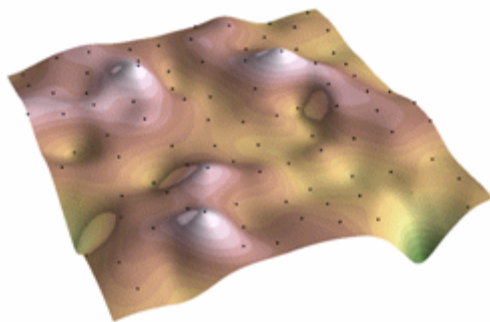


Рис. 14.5.6 – Патерн поверхні, інтерпольованої методом Spline [14]

Є два варіанти сплайна: регуляризований і напружений.

- Регуляризований сплайн (Regularized Spline) містить першу похідну (схил), другу похідну (швидкість зміни схилу) і третю похідну (швидкість зміни другої похідної) у розрахунках мінімізації. Регуляризований сплайн створює гладку поверхню, яка поступово змінюється, зі значеннями, які можуть перебувати поза розмахом вихідних значень.
- Напружений сплайн (Tension Spline) використовує тільки перші і другі похідні. Він включає більше точок у розрахунки сплайна, які

зазвичай створюють гладку поверхню, але збільшує час обчислень. Сплайн напруги створює менш гнучку поверхню зі значеннями наближеними до діапазону вихідним даних.

Вихідні дані регулюються параметрами сплайна.

- Weight контролює ступінь "натягу" результуючої поверхні залежно від її типу. Для типу Regularized зростання вагового коефіцієнта призводить до більшого згладжування емпіричної кривої, а для типу Tension – до більшої відповідності похідним даними.
- Number of point ідентифікує кількість точок, використовуваних в обчисленні кожної інтерпольованої чарунки. Чим більше вихідних точок буде ідентифіковано, тим більше чарунок перебуватимуть під впливом віддалених точок і поверхні.

Метод сплайн-апроксимації дає позитивні результати, навіть коли щільність опорних точок невелика. У разі великого розкиду значень параметра метод потребує початкового згладжування. Недоліком також є те, що в деяких випадках з'являються осциляції (різкі піки та западини).

14.5.4.5 Метод "Крігінг"

Метод "Крігінг" (Kriging від автора Daniel G. Krige) – потужний геостатистичний метод інтерполяції поверхонь для різних застосувань, таких як моделювання забруднення навколишнього середовища, топографія, ґрунтознавство, геологія, медицина та ін. Крігінг оптимізує процедуру інтерполяції на основі статистичної природи поверхні. Крігінг ґрунтується на статистичних моделях, які включають автокореляції, тобто статистичні зв'язки між вимірними точками. Цей метод не тільки дає можливість отримати прогноз поверхні, але й забезпечує певну ступінь впевненості й точності прогнозів.

Крігінг обробляє поверхні, вважаючи їх сформованими трьома незалежними складниками.

- 1) Перша з них, що називається *дрейфом* або структурою поверхні, становить поверхню загального тренду території в певному напрямку.
- 2) Друга – *невеликі відхилення* від цієї загальної тенденції типу маленьких піків і западин, які є випадковими, але все-таки пов'язаними одні з одними просторово (просторово корельовані).
- 3) Третя – *випадковий шум*, який не пов'язаний із загальною тенденцією й не має просторової автокореляції.

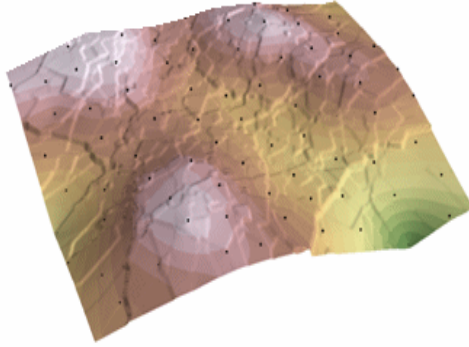


Рис. 14.5.7 – Патерн поверхні, інтерпольованої методом Kriging [14]

Цей набір складників ілюструє наступний приклад на рис. 14.5.8. При підйомі вгору по горі відчувається загальне підвищення рельєфу в напрямку руху; це – дрейф. По дорозі зустрічаються локальні зниження та підвищення, супроводжувані випадковими, але корельованими висотами. Також по дорозі зустрічаються камені, які доводиться переступати. Їх можна представляти як шум значення висоти, оскільки вони не пов'язані безпосередньо з основною поверхневою структурою.

Із кожним із трьох складників необхідно оперувати в окремо.

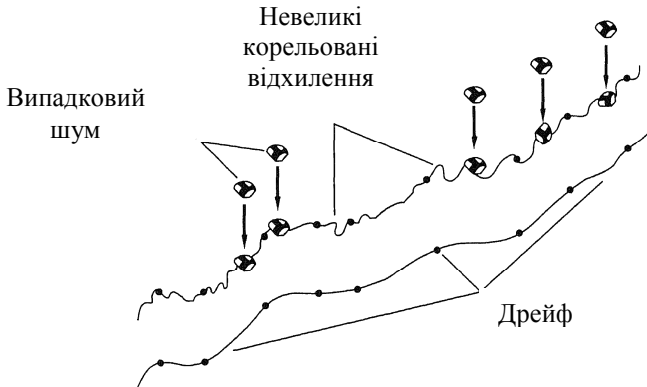


Рис. 14.5.8 – Складники крігінга [6]

Дрейф оцінюється з використанням математичного рівняння, яке найбільш близько представляє загальну зміну поверхні й у чомусь подібно до поверхні тренда:

$$Z(s_o) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(s_i) \quad (14.5.5)$$

де:

- $Z(s_i)$ – вимірне значення в i точці;
- λ_i – вага виміряного значення в i точці;
- s_o – прогнозне місце розташування;
- n – кількість вимірених значень.

Вага λ_i залежить не тільки від відстані між вимірною точкою та визначальним місцем, як у методі IDW, але й від просторового розподілу вимірених точок. При призначенні ваги для обліку просторового розподілу необхідно обчислити просторову автокореляцію.

Для розрахунків Крігінг виконує двокроковий процес:

- 1) створюються варіограми й коваріаційні функції для оцінки значень статистичних залежностей (що називаються просторовою автокореляцією), які залежать від моделі автокореляції (моделі узгодження),
- 2) визначаються передбачувані значення порожніх чарунок.

Таким чином, Крігінг використовує дані двічі: перший раз для оцінки просторової автокореляції даних і другий раз для обчислень значень.

Варіограма (variogram, semivariogram) – це функція, яка пов'язує дисперсію (або розходження) опорних точок і відстань, на якій вони стоять одна від одної. На горизонтальній вісі графіка варіограми (рис. 14.5.9) відкладається відстань між відліками, що називається лагом (lag), вертикальна вісь несе так звану полудисперсію (semivariance), яка визначається як половина дисперсії (квадрата стандартного відхилення) між кожним значенням висоти і його сусідами.

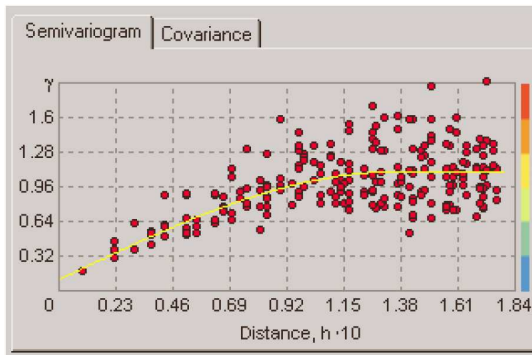


Рис. 14.5.9 – Вікно варіограми [14]

Графічне представлення варіограми використовується для отримання картини просторової кореляції опорних точок і їхніх сусідів, а також для вибору найкращої моделі емпіричної варіограми – колової, сферичної, експоненціальної, гаусової або лінійної.

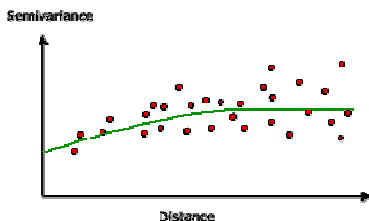


Рис. 14.5.10 – Сферична модель

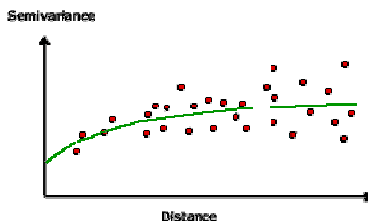


Рис. 14.5.11 – Експоненціальна модель

Маючи три складники регіоналізованої змінної, визначені варіограмою, можна визначити ваги, необхідні для виконання інтерполяції в локальних околах. Однак, на відміну від IDW, ваги для інтерполяції в межах окіл вибираються з метою мінімізації дисперсії оцінки для всіх комбінацій відліків висоти. Ця дисперсія може бути отримана безпосередньо з моделі, за якою була колись створена варіограма.

Є кілька типів Крігінга, основними з яких є такі:

- *звичайний крігінг* (Ordinary Kriging) – найбільш загальний метод, який припускає, що немає постійного середнього за даними на площі середнього (тобто, немає тренда).
- *універсальний крігінг* (Universal Kriging) – припускає, що домінуючий тренд (тенденція) існує в даних і що оскільки можна змоделювати.

Крігінг часто дає досить точні оцінки шуканих значень, але ця точність обходиться ціною часу та обчислювальних ресурсів. Але навіть при цьому крігінг має ще одну перевагу над іншими методами інтерполяції – він не тільки дає інтерпольовані значення, але також і оцінку можливої помилки цих значень.

У випадку з великим рівнем локального шуму через помилки вимірювань або великих варіацій висоти між відліками стає важкою побудова кривої полудисперсії.

3.4.5.4.6. Метод "Топо в растр"

За інтерполяцією значень висот для растра, метод "Топо в растр" (Топо to Raster) накладає обмеження, які забезпечують гідрологічно коректну цифрову модель рельєфу, яка містить пов'язані структури дренажу і правильно представляє хребти й потоки за вхідними даними горизонталей. Він використовує ітеративний метод інтерполяції кінцевих різниць, який оптимізує обчислювальні ефективності локальної інтерполяції без утрати безперервності поверхні глобальної інтерполяції. Він був спеціально розроблений для інтелектуальної роботи з вхідними горизонталлями.

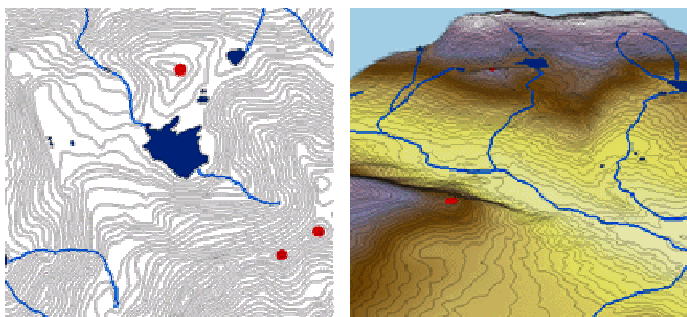


Рис. 14.5.12 – Патерн поверхні, інтерпольованої методом Топо to Raster [14]

14.5.4.7 Порівняння методів інтерполяції поверхонь

Рис. 14.5.13 ілюструє для порівняння методів інтерполяції поверхонь.

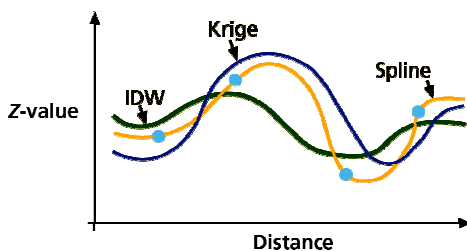


Рис. 14.5.13 – Порівняння методів інтерполяції поверхонь [52]

Методи IDW і сплайн – два детермінованих методи створення поверхонь зі зразків залежно від ступеня схожості або ступеня згладжування. Однак, поверхня сплайна проходить рівно через кожну точку вибірки, у методі IDW через поверхню не буде проходити жодна з точок. Крігінг є геостатистичним методом, який використовує потужний статистичний метод прогнозування значень, пов'язаних з заходом відносин у зразках, і використовує складну середньозважену методику.

14.5.5 Аналіз растрових моделей поверхонь

Патерни поверхонь, створених викладеними методами інтерполяції, характеризують поверхню в цілому. Для кращого розуміння даних використовуються:

- колірні схеми, що відображають значення атрибута Z,
- тривимірне представлення поверхні.

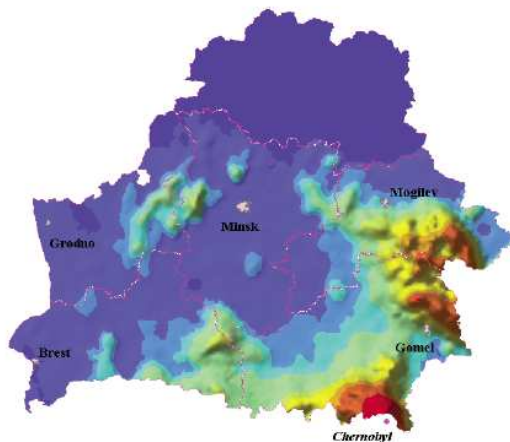


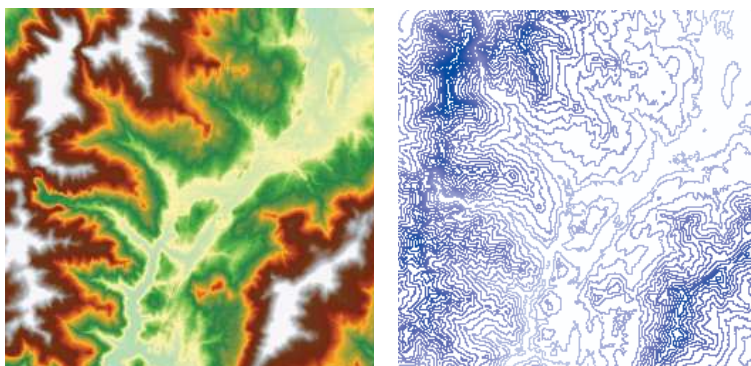
Рис. 14.5.14 – Колірна схема, що відображає значення атрибута Z

Особливі властивості поверхні в цілому, а також її окремих частин можна отримати як похідні від створених поверхонь спеціальними інструментами аналізу. Нову інформацію можна здобути, створивши новий набір даних, який виявляє певні закономірності у вихідному наборі даних. Можуть бути виявлені закономірності, які не помітні на зображенні вихідного набору, наприклад, ізолінії, кути ухилу, експозиція схилу, відмивання рельєфу та видимість, а також зміна

рельєфу (насипи / виїмки). Для аналізу особливих властивостей поверхонь, представлених растровими моделями, розширення ArcGIS Spatial Analyst має набір інструментів.

Ізолінія (Contour)

Функція Ізолінія (Contour) дозволяє створювати ізолінії для всього набору даних. Базова ізолінія – це значення, з якого починається створення ізоліній. Ізолінії створюються вище й нижче цього значення за необхідності, поки не покривають весь простір растра. Інтервал задає відстань між ізолініями. Для отримання властивостей поверхні за ізолініями необхідно виконання умови $\Delta Z = \text{Const}$. Z-коефіцієнт – це кількість одиниць вимірювання координат x, y в одиниці вимірювання значень z. Значення вхідної поверхні множаться на z-фактор, щоб перевести значення z в інші одиниці вимірювань.



а)

б)

Рис. 14.5.15 – Представлення рельєфу: а) вихідна поверхня, б) горизонталі, побудовані функцією Contour [14]

У прикладі на рис. 14.5.15 а) наведений вхідний набір значень висот, а на рис. 14.5.15 б) – похідний вихідний набір ізоліній. Області, де ізолінії розташовані близько, вказують на найбільш круті ділянки. Вони переважно розташовані у високогірних районах (показаних білим кольором у наборі даних висот).

Схил (Slope)

Функція Схил (Slope) обчислює максимальну величину зміни значення між кожною чарункою й її оточенням (максимальна зміна

значення висоти від відстані між чарункою й її вісьмома сусідніми чарунками), наприклад, максимальний схил земної поверхні. Кожній чарунці вихідного растра присвоюється значення схилу. Чим менше значення схилу, тим рівніша територія; чим більше значення схилу, тим крутіше схили.

Схил (крутизна скату) можна обчислити у формі кута схилу (у градусному мірнику) або ухилу (тангенса кута схилу, що дорівнює відношенню перевищення до відстані, вираженого, наприклад, у відсотках). Коли кут схилу дорівнює 45 градусам, на одиницю перевищення доводиться одиниця за горизонталлю. При вираженні у формі схилу такий схил дорівнює 100 відсоткам.

Функція Схил найбільш часто застосовується до наборів даних висот. Функція Схил дозволяє створити растр схилу для всієї території, щоб отримати уявлення про крутизну схилів і використовувати цей растр для подальшого аналізу. Цю функцію можна застосовувати також до інших безперервних наборів даних, щоб визначити ділянки різкої зміни значення.

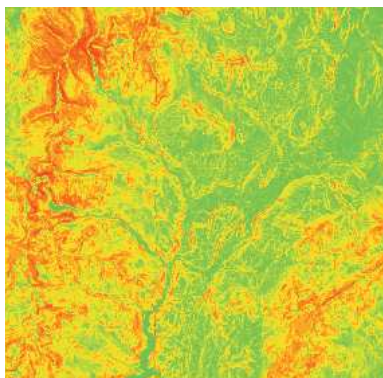


Рис. 14.5.16 – Растр схилу, побудований функцією Slope [14]

Експозиція (Aspect)

Експозиція вказує на напрямок найбільш крутого схилу від кожної чарунки до сусідніх чарунок. Функція Експозиція (Aspect) визначається напрямком схилу щодо спрямування на північ, куди звернений схил пагорба.

Експозиція вимірюється у градусах проти годинникової стрілки від 0 (напрямок на північ) до 360 (знову на північ, зробивши повне коло). Значення кожної чарунки в наборі даних експозиції вказує на напрямок схилу в цій чарунці. Плоскі ділянки не мають спрямування;

їм присвоюється значення 1.

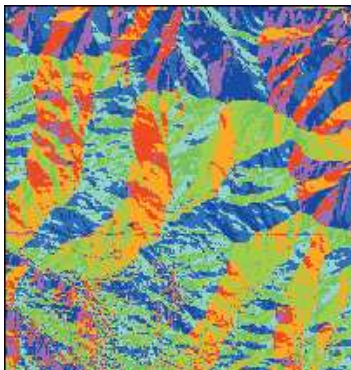


Рис. 14.5.17 – Растр напрямків схилів, побудований функцією Aspect [14]

Функція Експозиція дозволяє створити карту, яка показуватиме напрямок найбільш крутого схилу в кожній точці території в напрямку від чарунки карти до сусідніх. Найчастіше ця функція застосовується до растра висот для створення карти напрямків схилів. Приклади задач, що вирішуються за допомогою карти напрямків схилів:

- знайти всі схили гори, спрямовані на північ, при пошуку найкращих схилів для катання на гірських лижах;
- з'ясувати освітленість сонцем кожної точки території при вивченні біорізноманіття в якій-небудь області;
- знайти всі південні схили в гористому районі, щоб визначити, де в першу чергу танутиме сніг, при вивченні небезпеки затоплення житлових районів паводком;
- визначити плоскі ділянки при пошуку місця для аварійної посадки літака.

Затінення схилів (Hillshade)

Функція Затінення схилів (Hillshade) створює ефект штучного освітлення поверхні, визначаючи значення освітленості в кожній чарункі растра. Для цього вона встановлює позицію гіпотетичного джерела світла й обчислює значення освітленості для кожної чарунки щодо інших чарунок. У такий спосіб можна значно поліпшити вигляд даних при візуалізації або створити нову інформацію для подальшого аналізу.

За умовчанням відтінки шкали сірого кольору зв'язуються з числами від 0 до 255 (за зростанням від чорного до білого). Позиція гіпотетичного джерела світла задається двома параметрами:

- азимут (Azimuth) – це кутовий напрямок розташування гіпотетичного джерела світла, вимірюваний від півночі за годинниковою стрілкою, у градусах від 0 до 360. Азимут 90° вказує на схід.
- альтітуда (Altitude) – це кут піднесення гіпотетичного джерела світла над горизонтом. Одиницями вимірювання є градуси від 0° (горизонт) до 90° (зеніт).

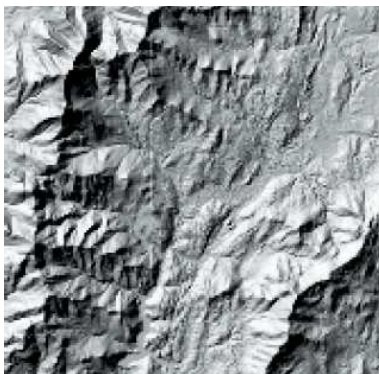


Рис. 14.5.18 – Растр затінення схилів, виконаний функцією (Hillshade) для значень азимута 315° й висоти 45° [14]

При моделюванні тіней (за умовчанням) обчислюється локальна освітленість, тобто розрахування осередка у тіні чи не в тіні. При моделюванні тіней можна обчислити, які чарунки потрапляють у тінь інших чарунок у певну годину дня. Чарунки, що потрапляють у тінь інших чарунок, отримують значення 0; іншим осередкам присвоюються значення від 1 до 255. Можна також перекласифікувати всі значення більше 1 в 1, створивши растр двійкових даних.

Видимість (Viewshed)

Функція Видимість (Viewshed) визначає точки вхідного растра, які можна побачити з однієї або декількох точок або ліній спостереження. У разі ліній у якості точок спостережень приймаються їхні вершини.

Растр створюється з чарунок, значення яких указує, видимі чи не видимі вони з точки спостереження. Кожна чарунка вихідного растра отримує значення, що вказує на те, скільки ліній або точок

спостереження видно з цієї чарунки. При одній точці спостереження кожна чарунка вихідного растра, яку видно з цієї точки, отримує значення 1. Усі чарунки, які не видно з цієї точки спостереження, отримують значення 0.

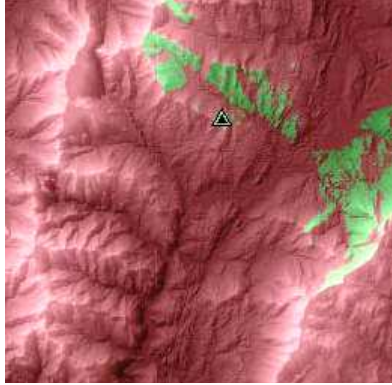


Рис. 14.5.19 – Области видимості з однієї точки, обчислені функцією Viewshed [14]

У наведеному прикладі на рис. 14.5.19 визначений огляд з точки спостереження. Растр висот показує висоту земної поверхні (більш темний колір показує більш низькі ділянки), а точка спостереження позначена зеленим трикутником. Зелені чарунки видно з точки спостереження, червоні чарунки – не видно.

Відображення затінювання схилів і результату виконання функції Видимості – зручний спосіб відображення зв'язку між видимістю та рельєфом. Видимість корисна, коли вам потрібно визначити, наскільки добре видно різні об'єкти на ландшафті, наприклад, для пошуку місць для комунікаційних вишок.

Об'єм насипу / виїмки (Cut / Fill)

Функція Об'єм насипу / виїмки (Cut / Fill) показує площі й об'єми змін між двома поверхнями. Вона вказує площу й об'єм поверхні, у якій відбулися зміни, пов'язані з додаванням або видаленням речовини поверхні. Маючи на вході дві поверхні для цієї області для двох різних періодів часу, функція Об'єм насипу / виїмки створює растр, що містить регіони, де додано речовину, регіони, де видалено речовину, і області, де за період часу не відбулося змін. Негативні значення обсягу вказують області, де кількість речовини зросла, а позитивні значення, – де вона вибула.

Функція Об'єм насипу / виїмки дозволяє створити карту за двома вхідним поверхнями "До" та "Після", яка показує площу й об'єм поверхні, що була змінена додаванням або видаленням речовини, з якої вона складається.



Рис. 14.5.20 – Карта насипу / виїмки [14]

На рис. 14.5.20 показано як функція Об'єм насипу / виїмки використовує поверхні "До" та "Після" для визначення областей з насипами, виїмками і не змінилися внаслідок виверження вулкана Св. Олени. Області з насипами відображені зеленим, області з виїмками – червоним, а незмінні ділянки показані жовтим кольором.

За допомогою функції Обсяг насипу / виїмки можна визначити:

- області ерозії й відкладень у річковій долині;
- об'єми й площі речовини поверхні, які необхідно вилучити або насипати до певного рівня будівельної ділянки;
- області, які часто засипає під час зсувів при пошуку безпечних ділянок для зведення будинків.

Статистики за чарунками (Cell statistics)

Функція Статистики за чарунками (Cell statistics) – це локальна функція, де значення кожної чарунки вихідного растра є функцією від значень чарунок з тим же місцем розташування з вхідних растрів. При обчисленні статистики за чарунками можна обчислити для кожної чарунки вихідного растра статистичну величину на підставі значень чарунок з таким же місцеположенням у всіх вхідних растрах.

Використовуйте цю функцію, коли потрібно обчислити статистичні дані за декількома растрами. Наприклад, проаналізувати розвиток певного явища в часі, наприклад, на середню врожайність за 10-річний період або різницю температур у різні роки.

Наступні функції можуть бути обчислені для кожного положення чарунки у вхідних растрах і записані у відповідну чарунку вихідного растра:

- більшість (Majority): визначає для кожного положення чарунки значення, які найбільш часто зустрічається у вхідних растрах;
- максимум (Maximum): визначає для кожного положення максимальне значення з вхідних растрів;
- середнє (Mean): визначає для кожного положення середнє значення з вхідних растрів;
- медіана (Median): визначає для кожного положення медіану значень з вхідних растрів;
- мінімум (Minimum): визначає для кожного положення мінімальне значення з вхідних растрів;
- меншість (Minority): визначає для кожного положення найбільш рідкісне значення у вхідних растрах;
- діапазон (Range): визначає для кожного положення діапазон значний у вхідних растрах;
- стандартне (сер. кв.) відхилення (Standard Deviation): визначає для кожного положення стандартне відхилення значень з вхідних растрів;
- сума (Sum): визначає для кожного положення суму значень з вхідних растрів;
- різноманітність (Variety): визначає для кожного положення кількість унікальних значень у вхідних растрах.

14.5.6 Розширений аналіз зі спільним використанням растрових і векторних даних

Міць просторового аналізу поверхонь істотно збільшується при спільному використанні трьох модулів розширень ArcGIS Spatial Analyst, ArcGIS Geostatistical Analyst, ArcGIS 3D Analyst.

Розширення ArcGIS Spatial Analyst надає можливість виконувати різноманітні операції за обчислення растрів, комбінувати карти для пошуку підходящих рішень здійснювати просторовий аналіз із використання як растрових, так і векторних даних. Модуль включає

розширений набір функцій просторового аналізу на основі спільного використання растрових і векторних даних.

Розширення ArcGIS Geostatistical Analyst інтерпрує потужні засоби для дослідження даних, удосконалені методи інтерполяції та аналітичні інструменти. Модуль надає набір потужних інструментів для дослідження структури просторових даних і побудови поверхонь за допомогою складних статистичних методів.

Розширення ArcGIS 3D Analyst дозволяє створювати динамічні, інтерактивні тривимірні зображення, які можуть допомогти у виконанні ефективного аналізу даних, наближеного до реального світу. Модуль дозволяє будувати перспективне зображення досліджуваної території, що допомагає візуалізувати результати виконуваного аналізу.

Усі ці модулі мають власні засоби побудови й аналізу поверхонь. Наприклад, розширення ArcGIS 3D Analyst надає власні засоби Ізолінії (Contour), Схил (Slope), Експозиція (Aspect), Затінювання схилів (Hillshade) а також деякі інші аналітичні засоби.

- *Ізолінії (Contour)*. Використовуючи ізолінії, можна проаналізувати будь-яку величину, яка прийнята як безперервна: зміна населеності, опадів, атмосферного тиску, градієнт ухилу (градієнт ухилу в деякій точці спрямований за нормаллю до ізолінії – горизонталі в цій точці) й т. д. За дискретними точками або за ґридом поверхні можуть бути побудовані всі ізолінії або одна ізолінія.

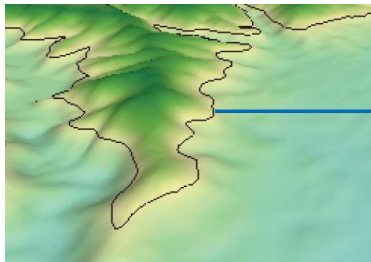


Рис. 14.5.21 – Побудова однієї ізолінії

- *Траєкторія стоку (Steepest Path)*. За растровою поверхнею визначається напрям найбільшого ухилу від досліджуваної точки. Отримана таким чином растрова лінія містить інформацію про довжину трека міграції речовини й ухил у кожній точці траєкторії.

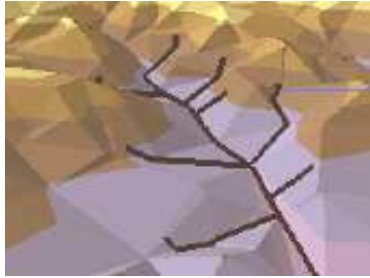


Рис. 14.5.22 – Траекторія стоку

- *Профіль (Profile Graph)*. Профіль показує зміну висот поверхні уздовж обраної лінії, полілінії.

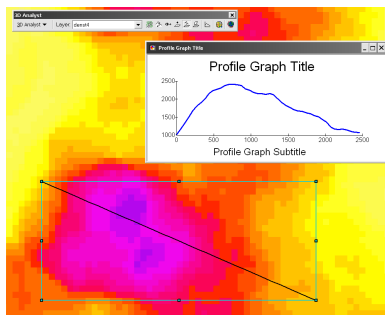


Рис. 14.5.23 – Профіль

- *Лінія видимості (Line of sight)*. Лінія видимості – графічна лінія між двома точками поверхні, яка показує, де відсутня видимість уздовж лінії.

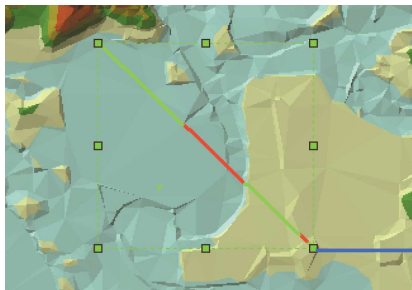


Рис. 3.4.5.24 – Лінія видимості

Усі ці модулі можуть працювати разом, утворюючи виключно потужне середовище для вдосконаленого просторового аналізу.

Прикладом спільного використання аналітичних засобів розширень ArcGIS 9.3 може бути вирішення задачі моделювання й дослідження річкових басейнів водозбору (watershed) [53]. На підставі вихідних 5593 точок з відомими висотами побудована цифрова модель рельєфу території міста. Побудова басейнів річок виконана шляхом обробки ЦМР функціями гідрологічного моделювання, які вбудовані в розширення Spatial Analyst Tools, для різної кількості водотоків-ланок. Етапи визначення водозбірної поверхні річки наступні:

- 1) створення ЦМР;
- 2) заповнення некоректних знижень рельєфу (функція Fill);
- 3) побудова ґрида напрямку стоку (функція Flow Direction);
- 4) побудова ґрида кумулятивного стоку (функція Flow Accumulation);
- 5) ідентифікація чарунок водотоку зі значеннями кумулятивного стоку вище заданого (функція Con);
- 6) визначення водотоків-ланок (функція Stream Link);
- 7) привласнення порядку кожній ланці водотоку (функція Stream Order);
- 8) визначення дренажної площі кожної ланки водотоку (функція Watershed).

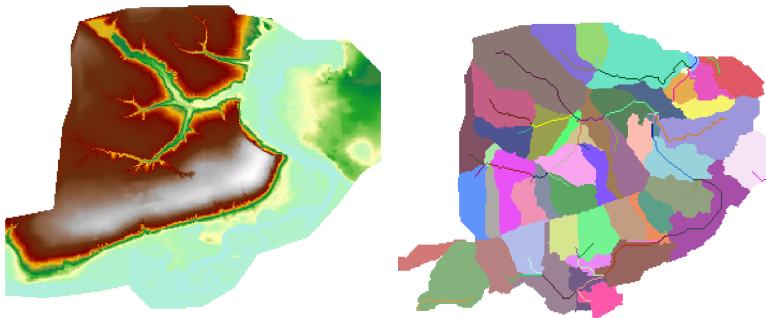


Рис. 14.5.24 – ЦМР і патерн поділу водозбірної поверхні на 51 водозбірних басейнів

Іншим прикладом спільного використання аналітичних засобів розширень ArcGIS може бути вирішення задачі моделювання кар'єру для геоінформаційного забезпечення гірничовидобувних робіт, у тому числі для використання в задачах планування, експлуатації робіт у

кар'єрі, управління кар'єрним автотранспортом, обчислення обсягів вилучених гірських порід [54].

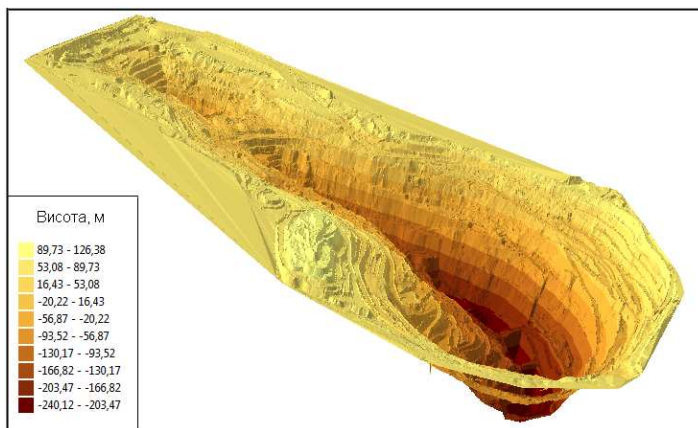


Рис. 14.5.25 – 3D модель кар'єра і фрагмент для обчислення об'ємів вилучених гірських порід

14.6 ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПІДГОТОВКИ

- 1) Наведіть формулювання, цілі, набір аналітичних питань аналізу просторових патернів.
- 2) Опишіть види просторового розташування точкових об'єктів.
- 3) Які використовуються методи аналізу точкових патернів?
- 4) У чому полягає сутність аналізу найближчого сусіда для точкових об'єктів?
- 5) У чому полягає сутність аналізу квадратів для точкових об'єктів?
- 6) Які використовуються засоби аналізу просторових патернів лінійних об'єктів?
- 7) Які використовуються методи аналізу лінійних патернів?
- 8) Чим характеризується спрямованість лінійних об'єктів?
- 9) Розкрийте міри зв'язності мережі лінійних об'єктів – гамма-індекс і альфа-індекс.
- 10) Які розрізняють види просторових патернів полігональних об'єктів.
- 11) Схарактеризуйте просторові залежності і просторові автокореляції.
- 12) Які заходи близькості розташування полігонів використовуються для побудови матриці близькості полігонів?
- 13) Як визначається статистика з'єднань полігонів при аналізі просторових патернів?
- 14) Як визначається статистичний індекс І Морана?
- 15) Як визначається коефіцієнт С Гирі?
- 16) Що розуміється під інтерполяцією поверхонь?
- 17) Опишіть методи інтерполяції поверхонь: обернено зважених відстаней, природного околу, тренд, сплайн, крігінг, топо в растр.
- 18) Наведіть загальну характеристику інструментів для аналізу патернів поверхонь у розширенні ArcGIS Spatial Analyst, ArcGIS 3D Analyst.

15. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВИХ СЦЕНАРІЇВ

15.1 РОЗУМІННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВИХ СЦЕНАРІЇВ

П'ятий клас задач ГІС-аналізу – задачі моделювання просторових сценаріїв, які створюються внаслідок отримання відповіді на питання типу: "Що станеться, коли..." (Modeling: What if..?). Цей сценарій умовно позначають як сценарій "Що, коли..?" (What if..?).

Сценарій "Що, коли..?" – це модель просторових об'єктів або явищ, яка може бути наслідком взаємодії вихідних й інших об'єктів або явищ у майбутньому.

Моделювання просторових сценаріїв "Що, коли..?" вимагає найбільш комплексного використання ГІС. Моделювання може включати зв'язування ГІС із відомим набором даних, відносин, наукових законів і т. д. із моделлю явища реального світу.

Моделі просторових сценаріїв "Що, коли..?" дозволяють кількісно представити наслідки в майбутньому. Вони використовуються для оцінки різних управлінь або сценаріїв розвитку. Комплексне моделювання просторових сценаріїв "Що, коли..?" потрібно для планування територіального розвитку, транспортного планування, управління ресурсами, проектування інженерного забезпечення, планування захисту від надзвичайних подій тощо. Наприклад, моделі міського зростання можна використати для прогнозування впливу контролю землекористування й майбутніх економічних умов на міську забудову й розробку стратегії щодо стримування темпів урбанізації. Атмосферні моделі використовуються щодня для передбачення погодних умов на кілька днів у майбутньому.

Моделювання просторових сценаріїв навколишнього середовища Землі підвищує ймовірність того, що ми в підсумку зможемо оцінити наслідки діяльності людини задовго до того, коли такі заходи дійсно матимуть місце.

15.2 ОЦІНКА НЕДОСТОВІРНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ПРОСТОРОВИХ СЦЕНАРІЇВ

Визначення проблеми

Одно з перших питань, яке вимагає розуміння при прогнозуванні просторових сценаріїв, якість або недостовірність (похибка) прогнозованих даних. Ця проблема є складною і багатозначною. Проблема оцінки недостовірності результатів при виконанні операцій просторового аналізу концептуально представлена у статті [55]. Тут далі використані концептуальні матеріали цієї статті, оскільки детальний виклад вимагає великих ресурсів і виходить за межі навчального посібника.

Операції обробки даних складаються з одного або більшої кількості алгоритмів, які створюють нові просторові дані з певних вихідних даних. Багато з цих алгоритмів забезпечують оцінку або прогнозування нових даних, які асоціюються з новими просторовими об'єктами. По суті, результуючі оцінки та прогнозування є невизначеними. Для того щоб бути корисними для прийняття рішень, геопроектинг має також пропонувати користувачам ГІС шлях кількісної оцінки цієї невизначеності, щоб можна було оцінити її вплив на висновки, зроблені з геопроектингу даних.

Інструменти просторової обробки даних (такі, як побудова буфера, оверлейної операції, об'єднання та перетин, інтерполяція) дозволяють досліджувати, поєднувати й інтерпретувати географічні дані, отримані з різних джерел. Вони утворюють важливі складові базової моделі, яка приймає вхідні дані (векторні покриття, шейп-файли або растрові ґріди) і асимілює їх значущим способом для одержання вихідної інформації. Ця інформація сприяє комплексній інтерпретації вихідних даних, які можуть виявитися більш придатними для такого застосування.

Геометричні властивості просторових об'єктів вихідних даних часто змінюються, щоб сформувати нові просторові об'єкти. При цьому функції вхідних значень атрибутів можуть бути передаватися новим просторовим об'єктам. Тому загальна мета моделювання може полягати в тому, щоб зрозуміти, як припущення, параметри і зміни пов'язані з вхідними даними і як працююча модель впливає на результати вихідних даних і на висновки, зроблені з них. Коли дані не точні або модель не є точною, недостовірність може тільки зростати з

кожною операцією геообробки. У таких випадках бажані ймовірнісні основи для побудови моделі з інструментами геообробки.

Використання ймовірнісної основи геообробки

Інформація про те, наскільки попередні прогнози далекі від передбачуваної реальності, вирішальна. Якби ми мали цю інформацію, вибір моделі був би легким. Хоча зазвичай така специфічна інформація, відсутня часто маємо набагато більше даних, ніж уявляємо. Наприклад, ми можемо знати, що конкретні сценарії більш ймовірні, ніж інші, і здатні визначити кількісно, наскільки ці дані узгоджуються з вигаданою моделлю.

Навіть коли ми не знаємо ймовірності різних сценаріїв, у цілях планування можна прийняти кілька сценаріїв "Що коли..?", які відображають цю невпевненість у реальності обраної моделі, а потім оцінити наслідки наших припущень. Оцінка того, наскільки неправильними ми можуть бути припущення і якими можуть бути реальні й потенційно серйозні наслідки, витрати часу, ресурсів і грошей не визначена. Однак, цю невизначеність (щодо реальності й впливу припущень і оцінок на висновки та рішення) можна інтегрувати з моделлю з використанням ймовірнісної основи. Можемо використовувати ймовірнісну інтерпретацію надання інформації, яка може бути надзвичайно корисною для прийняття рішень.

Розглянемо наступні сценарії геообробки.

- Функція буфера використовується для створення зони з певною дистанцією відносно просторових об'єктів у шарі. Звідки ми знаємо, що використовується відстань? Що станеться з нашими результатами та висновками, коли ми трохи змінимо відстань? Із урахуванням обраної відстані, наскільки неправильними можуть бути наші висновки? Це останнє питання може мати величезні наслідки для екологічної справедливості, яку, наприклад, ми намагаємося встановити, коли люди живуть поруч зі шкідливими чинниками навколишнього середовища.
- Щоб знайти найбільш відповідне місце для нового парку, ми могли б накласти карти щільності населення та карти відстаней проїзду до потенційного нового парку, маючи намір знайти новий парк у районі, який би був легко доступним для великої кількості людей. Хоча ми, безумовно, можемо визначити поняття про "легко доступний" і "велика кількість людей", наприклад, "у межах 5 кілометрів" і "5000 осіб", для цілей планування більш бажане вивчення рекомендованого розташування нового парку як

функцію декількох варіантів для цих значень. Ми могли б також зважити важливість кожного компонента у визначенні місця розташування нового парку, наприклад, імовірно, більш важливо, обслужити велику кількість людей, а їхня наближеність до парку менш значуща. Таким чином, використовуючи калькулятор растрів, можна об'єднати дві карти з установленням внеску щільності населення на 60 % і вкладу відстаней до 40 %. Однак а ні густота населення, а ні відстані поїздки не відомі з усією точністю. Який вплив чинить ця невизначеність на рішення щодо розміщення нового парку? Крім того, як зміняться висновки та рекомендації, коли змінимо співвідношення вкладів 60/40? Який вплив чинить наша невизначеність на реальне ставлення до висновків і рекомендацій? Чи є стратегія, яка може звести до мінімуму ризик розміщення нового парку в небажаному місці?

- Операції геообробки часто призводять до вихідних даних, отриманих унаслідок агрегування або дезагрегування вхідних даних. Наприклад, коли використовуються операції геообробки об'єднання та перетину, ми можемо призначити атрибутивні дані новоствореним об'єктам. Інший поширений приклад пов'язаний із використанням цифрової моделі рельєфу (DEM). Дані DEM існують у кількох дозволах і часто збільшені або знижені, щоб забезпечити оцінки висот, необхідні на певному масштабі для даних геологічних або гідрологічних додатків. Просторові методи інтерполяції, такі як крігінг і обернено зважених відстаней, часто використовуються, щоб включити до карти змінні оточення, значення яких потім агрегуються з метою пов'язати їх із здоров'ям населення й узагальненою інформацією про хвороби для адміністрування областями. І тим не менш, растрові перетворення, у тому числі процедури агрегації й дезагрегації, забезпечують тільки оцінки атрибутів, пов'язаних з новоствореними просторовими об'єктами, а не істинні значення. Інформація про точність отриманих оцінок є критичною для ухвалення рішень.
- У сільському господарстві агрономи часто розраховують функції втрат, які можуть бути визначені у грошових одиницях на основі економічної вигоди і які є наслідком добрив. Необхідна кількість добрив – різниця між кількістю, рекомендованою для конкретних культур, і присутньою у ґрунті. Рекомендована величина добрив залежить від бажаної врожайності, поточних цін на врожай, вартості добрив і кількості різних поживних речовин у ґрунті. Інформація про поживні речовини у ґрунті відображається (як правило, з використанням крігінгу) за декількома зразками ґрунту,

регулярно розташованими по всьому полю. Хоча крігінг забезпечує міру недостовірності, пов'язану із прогнозуванням поживних речовин ґрунту в будь-якому місці в області, йому важко перевести цю недостовірність у недостовірність відносно рекомендованої величини внесення добрив, а потім в економічні наслідки цієї рекомендації. Коли кількість необхідних добрив зменшити, урожай не буде оптимальним, і ми можемо розрахувати втрати в одиницях вартості на кожен кг добрив. Крім того, коли кількість добрив переоцінено, дорогі хімічні речовини застосовані без необхідності, й ми можемо розрахувати вартість нових добрив. Таким чином, важливо оцінити в одиницях вартості діапазон витрат, які можуть виникнути в результаті нашої (спочатку) невизначеною карти поживних речовин ґрунтів. Агроном бажає мінімізувати максимально можливі втрати, а це вимагає оцінки всього імовірного розподілу кількості добрива в кожному місці поля, а не тільки прогнозування середньої кількості.

Точність просторових даних

Точність просторових даних вже давно є дуже важливою проблемою користувачів ГІС. Похибки місцеположення (позиційні) зустрічаються, коли географічні координати точкового об'єкта точно не відомі. Це може бути пов'язано з помилкою вимірювання, спотвореннями проєціювання, недостовірностями даних, таких як подання площинних / растрових чарунок точками або похибками звітності. Похибки місцеположення завжди існують, і навіть невеликі географічні похибки можуть істотно впливати на просторовий аналіз. Наприклад, просторова близькість, як правило, розраховується з використанням відстаней між парами заданих місць, а похибки в координатах місця розташування призведуть до похибок в результатах растрових методів інтерполяції. Коли ці растрові шари потім використовуються в якості входних в інші функції або операції геообробки, похибки поширюються шляхом розрахунків, і незначні похибки можуть швидко додаватися до більших похибок коли багато розрахунків уже виконано. Коли недостовірні місцеположення буферизовані, атрибутивні значення з іншого шару можуть бути неправильно класифіковані. Користувачам ГІС необхідно переконатися, що похибки місцеположення не сильно вплинули на їхні результати і висновки, після цього вони отримують можливість відстежувати або коригувати їх відповідно.

Багато прикладів показують, що складний просторовий аналіз не може бути досягнутий за допомогою традиційних, детермінованих методів геообробки окремо. Але на підставі останніх виділяються ключові використання для імовірнісної геообробки.

- *Розподіл ресурсів*: оцінка сценаріїв "Що, коли..?".
- *Кількісний аналіз ризиків*: метою аналізу ризиків є опис ймовірності подій, що відбуваються, й можливі наслідки у разі їх проведення. Аналіз ризиків є складовою управління бізнесом, політикою рішень з охорони навколишнього середовища, глобальних моделей зміни клімату та водних ресурсів.
- *Похибка розповсюдження*: ГІС-користувачі часто мають інформацію про діапазон похибок даних, розподіл похибки параметрів моделі і / або ступінь переконання, що вибрали ваги, карти або функціональний опис вихідної реальності. Ця інформація може бути включена статистично як частина процесу моделювання. Похибка поширення притаманна геообробки, і органи, що приймають рішення, повинні узяти результуючу невизначеність до уваги.
- *Прийняття рішень*: дані та моделі введення завжди недосконалі, і функції геообробки, що виробляють оцінки, не істинні. Уповноважений приймати рішення потребує включення вартості вигод та ризик аналізу, які вимагають в оцінці чутливості до невідомих параметрів і результатів невизначеності. Використання імовірнісного геопроектингу може допомогти у підготовці рішень.

Ефект похибки поширення

Розглянемо, наприклад, середні значення висот для ґрида із високою роздільністю, щоб отримати інший ґрид з набагато більшою роздільністю.

Зональну статистику може бути використати для агрегування висот, що потрапляють в кожен чарунк. Значення, привласнене чарунці цільового ґрида, є арифметичним середнім вихідних значень висот, що потрапили в цю чарунк. Неявним в цих обчисленнях є припущення, що дані незалежні. Однак дані висот близькі до того, щоб бути просторово корельованими: значення висот, розташованих ближче один до одного, мають тенденцію бути більш схожими, ніж розташовані далі один від одного. Таким чином, щоб агрегувати оцінки висот, геостатичний метод усереднення (блок крігінгу), який розраховує значення висот для просторової кореляції, буде

забезпечувати точніші значення для цільового ґрида. Тоді як візуальні результати агрегації, що використовують зональні статистики та блок крігінгу, не дуже диференційовані, оцінка недостовірності, асоційована з двома підходами, суттєво відрізняється. Стандартна похибка середнього значення становить $\sqrt{s^2 / n}$, де s^2 – вибіркова дисперсія вихідних значень в кожному чарунку цільового ґрида. Таким чином, оцінка невизначеності від зональних статистик може давати нереальні, занадто оптимістичні оцінки середньої точності.

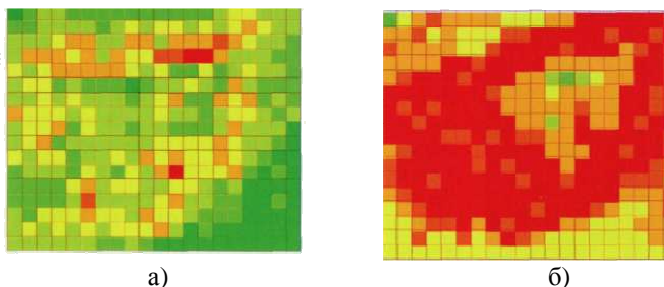


Рис. 15.2.1 – Приклад оцінки недостовірності в метрах а) зональним середнім, б) блоком крігінгу [55]

Міра невизначеності, пов'язана з відображеними значеннями, дуже важлива, бо вона впливає на інтерпретацію карт і висновків, які можна зробити на їхній основі. Наприклад, середня висота може бути припущена 850 м у двох різних місцях, але в одному місці прогноз становить $850 \pm 2,8$ м, а в іншому – $850 \pm 13,8$ м. Хоча ці прогнози схожі, компанія телебачення, яка шукає оптимальне місце для нової башти, може прийняти одне рішення, коли пагорб уздовж маршруту за прогнозами буде 850 ± 3 м, або може ухвалити інше рішення, коли той самий пагорб за прогнозами буде 850 ± 14 м.

Похибки, такі як ці, транслують в недостовірність щодо точності результуючих карт. Крім того, коли ці карти використовуються в подальших розрахунках, похибки об'єднуються. Користувачі ГІС мусять мати доступні інструменти для кількісної оцінки похибок і їхнього впливу на карти, отримані на основі географічних шарів.

Аналіз чутливості

Аналіз чутливості (Sensitivity Analysis) вивчає, як модель (чисельна, концептуальна або комплексна) реагує на зміни в інформації, яка представлена в якості вхідних даних. Вхідна інформація включає дані, використовувані для калібрування моделі,

передбачуваних параметрів або оцінки даних, що застосовуються для управління моделлю, й основні припущення, що лежать в основі моделі. Основною метою аналізу чутливості є визначення частини моделі, яка є критичною, і тієї, яка такою не є.

Наприклад, невелика зміна ключових параметрів може призвести до істотної зміни результатів моделі й чинить значний вплив на висновки, зроблені з моделювання застосувань. Такий аналіз може мати вирішальне значення для визначення достовірності результатів моделювання. Визначення компонентів, які не так істотні, також може бути важливим.

Висновок

Фактори невизначеності, що виникають з різних джерел, можуть вплинути на результати та висновки просторового аналізу. Помилкові дані, які використовуються без урахування їхньої внутрішньої невизначеності, швидше за все, призводять до інформації сумнівної цінності. Це особливо вірно, коли результати операцій геообробки даних складають основу більшої частини просторового аналізу, проведеного в межах ГІС.

Ідеї, представлені тут, можна інтегрувати в межах існуючих структур ГІС.

- Хоча методи для оцінки невизначеності в операціях геообробки здаються комплексними, тільки три нові компоненти мають додаватися: 1) уведення до розподілу / альтернативні значення / функції нечіткої належності, 2) інтерфейс діалогів користувача, який дозволяє мати кілька виходів (набори значень або розподілів), 3) варіанти постобробки.
- Середовище геообробки ГІС здебільшого гнучке, достатнє для виконання багатьох складних інструментів, а аналіз невизначеності та аналіз чутливості можуть розглядатися як паралельні процеси для стандартних можливостей моделювання в даний час.
- Вихідні / подальші розподіли можуть бути візуалізовані та проаналізовані за допомогою графіків, пов'язаних із картами та іншими об'єктами. Розподіл може бути апроксимований і компактно збережений із використанням суміші гаусових розподілів.
- Широка послідовна інформація може бути збережена у вигляді часових рядів даних.

Резюмування цієї інформації позначеними способами вимагатиме творчого підходу. Тим не менш, оцінка невизначеності внаслідок геообробки може значно підвищити корисність просторового аналізу в ГІС.

15.3 МОДЕЛЮВАННЯ СЦЕНАРІЇВ "ЩО, КОЛИ?" ШЛЯХОМ КОМБІНУВАННЯ АНАЛІТИЧНИХ ЗАСОБІВ

Розробка просторових сценаріїв – складний процес. За допомогою засобів аналізу "Що, коли..?" в ГІС можна експериментувати з різними наборами значень в одному або декількох аналітичних засобах для вивчення всіх можливих результатів. При аналізі "Що, коли..?" моделюються сценарії просторових змін. При цьому сценарій становить результат підстановки в аналітичні засоби певного набору значень. Сценарії переважно використовуються для представлення еволюції просторових структур і майбутніх подій.

Області моделювання сценаріїв важко перерахувати через їхню величезну кількість. Зважаючи на величезне розмаїття задач і областей застосування немає єдиної методології моделювання просторових сценаріїв "Що, коли..?". Залежно від конкретної проблеми використовуються відповідні комбінації аналітичних засобів. Спектр розроблювальних просторових сценаріїв надзвичайно широкий – від простих прагматичних до складних футуристичних [56], [57].

Найбільш часто моделюються просторові сценарії за тематикою:

- територіального розвитку,
- захисту від надзвичайних подій,
- інженерного забезпечення,
- розвитку територій,
- прогнозування,
- транспортного розвитку,
- управління ресурсами.

Через велике розмаїття підходів до комбінування аналітичних засобів нижче наведено приклади моделювання сценаріїв "Що, коли..?" з використанням декількох аналітичних засобів.

15.3.1 Приклади моделювання сценаріїв "Що, коли..?" в надзвичайних ситуаціях

Оцінка збитків ризику торнадо для міста Форт-Уерт [58]

За іронією долі 28 березня 2000 торнадо значних масштабів вдарив по мегаполісу Даллас–Форт-Уерт–Арлінгтон (Метроплекс, 7 млн. жителів) у Північно-центральної частині штату Техас. На "алеї торнадо" опинилися 30 тисяч будівель і 80 тисяч жителів, у тому числі ядро ділової частини міста Форт-Уерт. Збиток від торнадо був величезним. Хмарочоси ділової частини міста безпосередньо уражені великою хмарою уламків. В історії назавжди залишаться образи 40-поверхових будинків із тисячами розбитих вікон.

Сильні торнадо відбуваються в цьому регіоні країни майже кожен рік. Оскільки мегаполіс Даллас–Форт-Уерт–Арлінгтон продовжує зростати і розвиватися, можливість повторення такої події продовжується. Для того щоб не бути захопленими зненацька Рада Північно-центрального Техасу (North Central Texas – NCTCOG) і Національна служба погоди у Форт-Уорт спільно зі службою Оцінки збитків ризику Торнадо оцінили результати декількох сценаріїв проходження торнадо через мегаполіс.

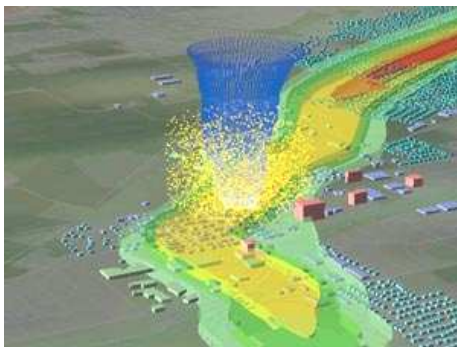


Рис. 15.3.1 – 3D-сцена частини шляху торнадо в мегаполісі

У якості аналога використана модель одного з найбільш потужних торнадо в Оклахома-Сіті. За допомогою ArcInfo на карті були спроектовані шляхи північ-південь і схід-захід через Метроплекс у кожному сценарії, щоб забезпечити різноманітність шляхів торнадо. Програма ArcInfo служила як географічний процесор обробки для вивчення у той час, як ArcView GIS була інструментом нанесення

даних на карту й ефективного представлення результатів. Розширення ArcView 3D Analyst було використано для побудови декількох 3D моделей і анімації, які розвіяли сумніви щодо сприйнятливості області до потужного торнадо з протяжним слідом. На 37-мильному шляху найбільш руйнівного торнадо більш ніж 20 тисяч полігонів існуючих будівель нанесені на карту й екструдовані за маршрутом. Математичні функції й запити уздовж маршруту, написані здебільшого мовою Avenue, динамічно забезпечували вибірки вихідних даних і аналіз кадр за кадром географічного профілю в зоні впливу торнадо.

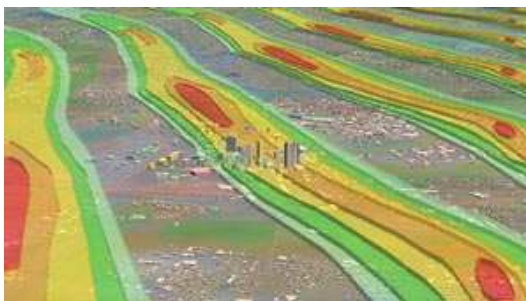


Рис. 15.3.2 – Шляхи торнадо для 5 сценаріїв

Оцінка збитків виконана для 5 сценаріїв (рис. 15.3.2). Збиток власності за найгіршого сценарію наближається до 3 млрд доларів; кількість одиниць житла та комерційних структур сягає більше 38 тис.; кількість жителів на шляху торнадо – більше 84 тис., а кількість людей, що працюють у будівлях на шляху торнадо – приблизно 94 тис.

Сто шляхів для відображення впливів урагану [59]

Проект захисту та відновлення узбережжя Луїзіани розроблений Інженерним корпусом армії США, ученими та планувальниками. Мета полягає в тому, щоб урятувати життя, майно, навколишнє середовище й культурну спадщину.

У проекті розглянуто більше 100 альтернатив для зміцнення узбережжя штату з варіантами, які охоплюють від 100- до 1000-річного зниження ризиків. Учені Інженерного корпусу визначили потенційні хвилі та хвилі заввишки як для частих і рідкісних подій на основі таких критичних факторів, як відносини швидкості вітру, центрального тиску, скоростиглої швидкості та розташування зсувів.

Проект використовує ГІС для повного аналізу захисту від урагану 5-ї категорії узбережжя Луїзіани. У якості істотного інструменту планування використовується програмне забезпечення ArcGIS, яке дозволяє побачити проблему і прогнозувати сценарії "Що, коли..?", Засновані на суворості погоди, змінах в зростанні чисельності населення, конструкції греблі та інших об'єктів інфраструктури, впливах на екологічні середовища проживання, й набагато чому іншому. Фахівці ГІС працюють з дослідниками для створення баз даних, розробки картографічних шарів, оцінки відносин даних і дизайну методів прогнозного моделювання. Дані баз даних агентств і видалені дані, зокрема лазерних далекомірів, уводяться в ГІС, яка завершує розрахунки і створює візуалізації даних на інтелектуальній карті. Дані Національного центру ураганів були отримані з моделі. Ці дані також можна використати в моделях. Наприклад, команда використовувала ГІС для візуалізації просунутої моделі прибережної циркуляції і штормового нагону при сплеску урагану та повені.

Заслугують також уваги інші приклади моделювання сценаріїв "Що, коли..?" у надзвичайних ситуаціях:

- сценарії в разі хімічних, біологічних, радіологічних, ядерних або високопродуктивних вибухонебезпечних інцидентів [60];
- сценарії евакуації в міжнародному аеропорту Брюсселя у разі пожежі [60];
- створення інтерфейсу Управління з надзвичайних ситуацій у графстві Гучланд [62].

15.3.2 Приклади моделювання сценаріїв "Що, коли..?" в територіальному розвитку

Допомога міським планувальникам візуалізувати потенціал розвитку [63]

Прикладом моделювання сценаріїв "Що, коли..?" в територіальному розвитку можуть бути роботи, виконані для міста Лос-Анжелеса в межах "Допомоги міським планувальникам візуалізувати потенціал розвитку".

За даними Бюро перепису населення США місто Лос-Анджелес, Каліфорнія, збільшилося більше ніж на 209 тис. людей у період з 1990

по 2000 рік. Частка Лос-Анджелеса в регіональній потребі в житлі в 2014 році становитиме 113 тис. нових одиниць.

Драматичне зростання населення стимулює містобудівників більше думати про проекти розвитку заповнення. Заповнення визначається як використання вільних земель і майна в рамках забудованої площі для подальшого будівництва або розвитку, особливо в рамках сусідства. Проектувальникам необхідно оцінювати землі з низьким коефіцієнтом використання для потенційного розвитку заповнення шляхом скринінгу великих площ, наприклад, ділянок перепису, земель спільноти й округу міської ради.

Департамент міського планування використав геоінформаційну систему Zone Information and Map Access System (ZIMAS), розроблену в 1998 році із використанням MapObjects. ZIMAS є всеосяжним інструментом інвентаризації зонування та земельних ділянок. Для доступу до бази даних ділянок, що складається з майже мільйона записів, використовується ArcIMS.

У 2006 році Solimar Research Group (SRG) з Вентури, штат Каліфорнія, уклала контракт із Лос-Анджелесом, щоб розвивати картографічні системи сценаріїв заповнення (Infill Scenario Mapping System – ISMS). Команда розвитку виявила, що ArcGIS Server може легко обробляти потенційно великі результати запитів; команда також визначила те, що з ArcGIS Server бібліотека комунальних послуг та управління має бути включена, щоб допомогти поліпшити інтерактивність веб-застосунків, швидкість і загальний досвід користувача.

ISMS дозволяє проектувальникам розробити параметричні запити до реєстру ZIMAS, щоб знайти ділянки, які відповідають певному набору вимог для потенційного розвитку заповнення. Користувачі взаємодіють з простим у використанні веб-застосунком для створення сценарію або шляхом заповнення форми та її подання, або відповідаючи на опції майстра (wizard), який допомагає їм зрозуміти, як різні вхідні параметри впливають результати сценаріїв. Вони можуть також завантажити збережений сценарій. Збережені сценарії – це XML-файли, створені від попередніх запитів, що можуть легко розподілятися серед містобудівників.

Планувальники побачили додаткові можливості ISMS для використання веб-додатків. Наприклад, ті ж параметри заповнення розвитку можна використати для виявлення можливих майданчиків для парків, комунальних служб або культурних потреб. Зворотний бік сценаріїв, таких як визначення житлово-багатих областей, можна використати для залучення робочих місць і підприємств.

ISMS використовує масивні реєстри ділянок від ZIMAS і розширює можливості ГІС більш ніж 150 планувальників Департаменту міського планування простим використанням веб-формату. Вони не потребують програмного забезпечення ГІС на своїх настільних комп'ютерах. Вони не мають бути ГІС-експертами. Їм просто необхідне підключення до мережі.

15.3.3 Приклади моделювання сценаріїв "Що, коли..?" при розміщенні об'єктів

Моделювання радіотрас [64]

Місто Пеорія використовує комп'ютерну систему SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) для збирання даних, моніторингу та диспетчерського управління підприємствами комунального господарства, яке підтримує більше 1600 кілометрів водовідних і каналізаційних трубопроводів та іншої інфраструктури.

Наразі місто модернізує систему SCADA на Фаза II, замінюючи її серійну радіостанцію з широкосмуговим радіо Ethernet. Існуючу єдину точку доступу замінять на нову кільцеву мережу, яка матиме, принаймні, п'ять базових радіостанцій, що забезпечать точки доступу для віддалених підключень. Резервні підключення можна додати шляхом встановлення волоконно-оптичного кабелю та підключення до Інтернету.

Для моделювання радіотрас було ініційовано ГІС за кілька днів. Місто вже мало високоякісні аерофотознімки з чотиридюймовою роздільною здатністю, п'ятифуртову цифрову модель рельєфу, розташування більшості активів комунального господарства. Для визначення житлових місць були використані адресні точки. Невеликий обсяг даних був зібраний командою ГІС: Z-значення (перевищення та висоти) для радіоантен, будівель й бар'єрів по коридорах радіотрас. Висоти будов були отримані з виконавчих креслень і польовими вимірюваннями.

Для модернізації системи був потрібний повний аналіз ліній видимості й зон видимості для 56 веж радіоантен. Дослідження були проведені за допомогою розширення ArcGIS 3D Analyst 9.2. Типовий шлях радіопроменів без будь-яких фізичних перешкод був знайдений менше ніж за день. Коли радіошлях зустрічає безліч перешкод, народжуються численні сценарії "Що, коли..?". У цих випадках

оптимальні рішення були знайдені менш ніж за тиждень.

Альтернативні сценарії мережі були представлені в ArcScene для легкої візуалізації й поліпшення процесу прийняття рішень. Місцеположення й висоти існуючих і майбутніх веж SCADA уводилися в базу даних ГІС. Створювався коридор радіотрас, який потім накладався на аерофотознімки, щоб побачити можливі перешкоди, такі як пагорби, будівлі, звукові бар'єри шосе або деревостани. Будь-які потенційні перешкоди в коридорі радіотрас уводилися в базу даних ГІС. Частини зон для вільного або сільськогосподарського використання виділені та визначені в якості областей потенційних майбутніх перешкод.

Команда ГІС виявила, що Департамент планування міста планує побудувати низку висотних будівель у найближчі кілька років. За допомогою будівельних креслень AutoCAD були створені просторові об'єкти майбутніх будівель, уведені потім у ГІС. Використання 3D Analyst і ArcScene показало, що деякі нові 110-поверхові будівлі були непередбачуваними перешкодами для пропонуваного радіотрас SCADA. Комітет SCADA зміг перемістити запропонований набір антен на безоплатній основі для міста.

Використання ГІС для аналізу сценаріїв "Що, коли..?" при розміщенні радіоантен зберегло місту десятки тисяч доларів і місяці часу.

Моделювання ринку для створення здорових банків [65]

Компанія SNL у місті Шарлоттсвілль, штат Вірджинія, збирає, стандартизує та поширює спеціалізовану бізнес-інформацію для банківських, фінансових послуг, страхування, нерухомості та енергетичної галузі промисловості через свій SNL Interactive (SNLi) веб-портал. Портал включає картографічний застосунок SNLi, який передається передплатникам порталу. Картографічний застосунок SNLi використовує програмне забезпечення ArcGIS від ESRI для перегляду та аналізу інформації на карті.

За допомогою ArcGIS клієнти можуть переглядати різні типи даних, уключаючи вуличні дані, аерофотознімки, а також створювати нові дані, такі як додавання нових областей ринку і включення демографічних і бізнес-даних. Картографічне додаток SNLi включає в себе ці функції, створюючи інтуїтивний аналіз ринку та засобів візуалізації для абонентів. Сервіси веб-сайту дозволяють абонентам ідентифікувати місцеположення активів, виконувати пошук конкурента, а також генерувати поглиблений або спеціальний аналіз

відповідно до необхідності.

Абоненти використовують потужну аналітику ГІС на веб-сайті, щоб глибоко вивчати розміщення ринку і знайти краще рішення для підтримки здорового балансу. Зміни в концентрації ринку депозитів також можна переглянути за допомогою сервісу. Це дозволяє абонентам моделювати такі сценарії "Що, коли..?", як що трапиться, коли вони відкриють нові філії, запропонують різні послуги або закриють неефективні місцеположення.

Шаблон віртуального міста уможливлюють 3D моделювання міста [66]

Із виходом ArcGIS 10 і додаванням значних можливостей розширення ArcGIS 3D Analyst система стає по-справжньому тривимірною ГІС. Щоб прискорити перехід до планування міст і населених пунктів у 3D, розширення ArcGIS 3D Analyst тепер включає стандартні засоби редагування – шаблон Virtual City (віртуальне місто).

Модель реалістичного 3D-міста комбінує базові карти, зображення, дані висот і таких об'єктів, як будівлі й мости. Віртуальна модель міста може також включати підземні споруди, такі як підвали, структури парковки, системи метрополітену й комунальної інфраструктури. Уключені шаблони просторових об'єктів вуличної фурнітури, рослинності, автомобілів і люди, здається, приносять віртуальні міста до життя.

Реальна сила ArcGIS 3D віртуальних міст виявляється в оцінці сценаріїв "Що, коли..?". Концепцію можна швидко візуалізувати, оцінити, поліпшити або відкинути залежно від того, як сценарій розігрується. Інструменти, вбудовані в розширення ArcGIS 3D Analyst допомагають користувачам візуально оцінити чутливість пропонованого проекту або будівлі, в тому числі зміни до горизонту, ефекти тіней на існуючих структурах, і дію на зони видимості й лінії видимості для навколишніх будинків.

Наприклад, у сценарії впливу планованих будівель у Філадельфії планувальники візуалізують і аналізують об'ємні тіні нової структури, яка буде створена (рис. 15.3.3). За допомогою 3D ГІС вони можуть виконувати більш складний аналіз, який враховує час дня та існуючі тіні. Інші аналізи можуть показати кількість годин на день, коли певне вікно в сусідньому будинку перебуватиме в тіні через пропоновану нову будівлю.

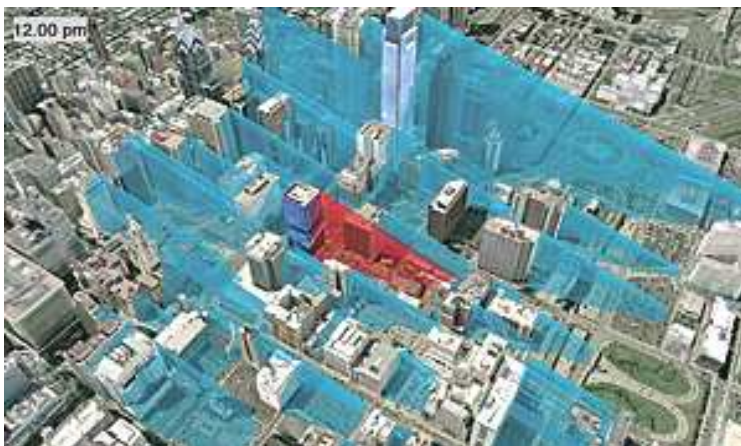


Рис. 15.3.3 – Часовий аналіз показує вплив тіней пропонованих будівель у різний час

Хоча 3D віртуальні моделі міст створюють привабливі візуальні зображення, щоб допомогти втілити бачення або концепцію розвитку, реальна цінність полягає у глибині аналізу, який просто не уявлятиметься можливим у 2D.

15.4 МОДЕЛЮВАННЯ СЦЕНАРІЇВ "ЩО, КОЛИ..?" СПЕЦІАЛІЗОВАНИМИ ЗАСОБАМИ

15.4.1 Система підтримки планування What if?

15.4.1.1 Загальний опис

Загальна характеристика

Корпорація What if?, Inc. розробила засновану на ГІС систему підтримки планування "Що, коли?" ("What if? TM" Planning Support System) для міст і регіонів [67].

Програмний продукт What if? 2.0 є прикладом покоління систем підтримки планування на базі ГІС [69]. Як випливає з назви, система "Що, коли?" призначена для визначення того, "що" станеться, "коли"

низка політичних виборів зроблена і припущення про майбутнє виявляться правдою. Політика вибору, яка може бути розглянута в моделі, включає поетапне розширення суспільної інфраструктури й упровадження альтернативного контролю над використанням земель. Припущення або допущення, які можуть бути розглянуті в моделі, включають прогнозовану чисельність населення й зайнятість, майбутні характеристики домогосподарств і передбачувану щільність розвитку. Система дозволяє користувачам швидко та легко створювати альтернативні сценарії розвитку, що включають різні варіанти виборів і припущень, та визначати їхні можливі наслідки для майбутніх структур землекористування і пов'язаних із ними населенням і тенденціями в галузі зайнятості.

Пакет What if? 2.0 – це автономна система, яка працює з усіма версіями ArcGIS, ArcView від ESRI і всіма ГІС-системами, які можуть використовувати шейп-файли.

Реалізація принципів

В основу розробки системи підтримки планування "Що, коли?" (СПП "Що, коли?") покладено чотири принципи, які представляють нове бачення планування за участі громадськості.

- Реалізація принципу 1: *усі моделі є неправильними, але деякі моделі корисні*. Система підтримки планування "Що, коли?" відображає перший принцип дизайну, відмовившись від зусиль із розробки складної й всеосяжної, теоретично багатой моделі, яка намагається охопити складність міського розвитку. Замість цього вона надає зрозумілу, легко використовувану і повну операційну модель, яка допомагає лідерам спільноти та громадськості зрозуміти своє теперішнє, розглянути питання майбутнього, і оцінити альтернативні стратегії для досягнення своїх колективних цілей.
- Реалізація принципу 2: *прогноз важкий, особливо майбутнього*. Як випливає з назви, СПП "Що, коли?" реалізує другий принцип, не намагаючись точно передбачити невідоме майбутнє. Замість цього, вона становить очевидну політично орієнтовану модель, яка передбачає, що може відбутися в майбутньому, коли чітко визначена суспільна політика, а прийняті припущення про майбутнє є правильними. Політика виборів, які можуть бути розглянуті в моделі, включає етапи розширення громадської інфраструктури, реалізацію альтернативних планів землекористування і приписів зонінгу та програм захисту сільськогосподарських угідь і відкритих просторів. Припущення

про майбутнє, яке може розглядатися в моделі, включає майбутнє населення й тенденції у сфері зайнятості, побутові характеристики та щільності розвитку.

- Реалізація принципу 3: *підтримувати його простим, нецікавим*. СПП "Що, коли..?" забезпечує відносно просту, засновану на правилах модель, яка не намагається відтворити складні просторові взаємодії і явні ринкові процеси, які формують міську тканину. Замість цього, вона включає в себе набір явних правил прийняття рішень для визначення відносної придатності різних місцях, проектування майбутніх вимог землекористування, і розподілу прогнозованих вимог до найбільш підходящим місцям.
- Реалізація принципу 4: *використовувати його, тому що він заснований на кращих наявних даних*. СПП "Що, коли?" реалізує четвертий принцип використання найліпших існуючих даних при розміщенні різних наборів даних, які доступні для різних областей по всьому світу. Таким чином, наприклад, він може вміщувати до 30 різних видів землекористування, 20 факторів придатності та необмежену кількість варіантів політики. Це дозволяє застосувати державам, регіонам із багатьох округів, районів, областей і частинам округів практично в будь-якому місці ці моделі.

Чотири варіанти аналізу

СПП "Що, коли?" також надає чотири варіанти (альтернативи) аналізу для розміщення наявної інформації різних рівнів.

- *Варіант Придатність* складає карти та звіти, показуючи відносну придатність різних місць для розміщення майбутніх землекористувань. Цей варіант вимагає тільки шари / покриття ГІС для поточного землекористування й для природних і штучних просторових об'єктів, що підлягають розгляду в аналізі придатності.
- *Варіант Землекористування* проектує до тридцяти видів землекористування для п'яти років проектування та для налаштування. Ця опція вимагає просторову інформацію для варіанта Придатність, поточну та прогнозовану інформацію про дослідження району місцевого населення і про зайнятість.
- *Варіант Землекористування / Населення* проектує наступні змінні для п'яти років проектування та для налаштування: 1) загальна чисельність населення; 2) населення за віковими групами; 3) кількість домогосподарств; 4) кількість одиниць житла; 5) кількість вакантних одиниць житла; 6) частка вакантних

одиниць житла; 7) середній розмір домогосподарства. Прогнози повідомляються для всієї галузі дослідження і для визначуваних користувачем таких областей, як райони перепису, політико-адміністративний поділ та зони аналізу трафіку. Ця опція вимагає всієї інформації з попереднього варіанта аналізу та поточну інформацію про населення та домогосподарства для районів перепису.

- *Варіант Землекористування / Населення / Зайнятість* проектує зайнятість за місцями роботи у 20 секторах зайнятості. Ця опція вимагає всієї інформації за попередні варіанти аналізу та актуальну інформацію зайнятості для районів перепису.

15.4.1.2 Використання СПП "Що, коли?"

СПП "Що, коли?" 2.0 включає сім варіантів.

Опція Файл

Опція Файл може бути використана для відкриття, додавання, копіювання, переміщення та видалення раніше створених проектів. Опція Допомога забезпечує інтерактивний доступ до Посібника користувача "Що, коли?" за допомогою змісту, індексу й повнотекстового пошуку. Опція Проект використовується, щоб визначити не просторову інформацію, використовувану програмою. Опція Поточний може бути використана для перегляду карти та звітів, що описують поточний стан у галузі дослідження й будь-які користувацькі підрайони.

Опція Придатність

Опція Suitability (Придатність) може бути використана для підготовки сценаріїв, які визначають відносну придатність різних місць для розміщення потреби прогнозованих земле користувачів. Як показано на рис. 15.4.1, форма Suitability scenario assumptions (Припущення сценарію Придатність) містить три аркуші з закладками, помічені Importance (Важливість), Suitability (Придатність) і Conversion (Перетворення).

Лист Importance забезпечує панель повзунків, які можуть бути використані для зазначення припущень користувача про те, що відносна важливість кожного фактора придатності (тобто, схилів, основних сільськогосподарських ґрунтів і т. д.) має відігравати значну роль у пошуку потреби особливого землекористування.

Suitability Scenario Assumptions - Demonstration

Scenario: Conservation Future Land Use: Residential

Importance | **Suitability** | Conversion

Suitability Factor	None/Low 0	Factor Importance Medium 50	High 100	Value
Slopes				100.00
Prime Ag. Soils				75.00
Septic Soils				50.00
100-year Flood				25.00
Historic Sites				50.00
Streams				50.00
Accessibility				25.00

☐ Read Only

Weight factor importance from 0 (not considered) to high (5, 9, or 100)

Рис. 15.4.1 – Лист Importance вікна припущень для сценарію Suitability (Придатність)

Так, важливість значення 100 для схилів і 50 для септичних ґрунтів для житлової забудови в рис. 15.4.1 показує, що Припущення про схили в два рази важливіше, ніж про септичні ґрунти для розміщення нової житлової забудови. Значення 0 можна використати для позначення чинників, які не слід розглядати в пошуку конкретного використання землі.

Suitability Scenario Assumptions - Demonstration

Scenario: Conservation Future Land Use: Residential

Importance | **Suitability** | Conversion

Historic Sites | Streams | Accessibility | Slopes | Prime Ag. Soils | Septic Soils | 100-year Flood

Slopes

Exclude/Low 0	Development Suitability Medium 50	High 100	Value
<6%			100.00
6% - <12%			50.00
12% - <18%			0.00
18% - <25%			0.00
>=25%			0.00

☐ Read Only

Rate suitability from 0 (excluded) to high (5, 9, or 100)

Рис. 15.4.2 – Лист Suitability вікна припущень для сценарію Suitability (Придатність)

Лист Suitability забезпечує панель повзунків, які можна використати для вказівки на припущення користувача про відносну придатність різних типів факторів придатності (наприклад, різні ухили для фактора схилу) для розміщення кожної потреби землекористування. Значення панелі повзунків можуть бути від низького – 0 до високого – 100. Придатність значення 0 можна використати для виявлення областей, розвиток яких має бути виключено, незалежно від їхніх рейтингів і від інших факторів. Так, 0 значення для схилів, що більше або дорівнює 12 відсоткам для житлових земле користувань, на рис. 15.4.2 показує, що для житлового комплексу будуть виключені всі області, які мають ухили 12 і більше відсотків.

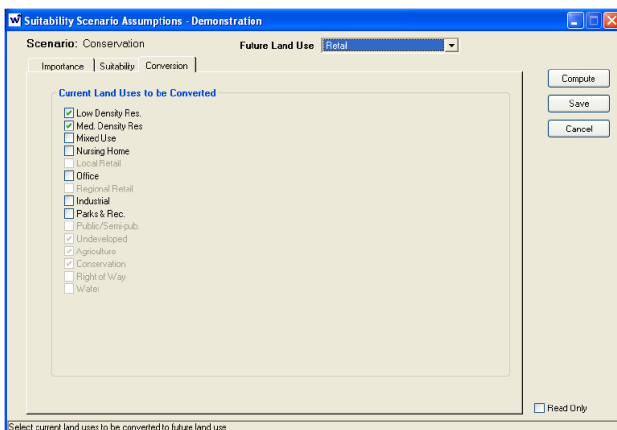


Рис. 15.4.3 – Лист Conversion вікна припущень для сценарію Suitability (Придатність)

Лист Conversion використовується для ідентифікації видів землекористування, які можуть бути перетворені з їхнього поточного використання (наприклад, сільське господарство) на інше використання (наприклад, житлове) протягом процесу розподілу.

Після вказівки на вагу факторів важливості, рейтингів придатності та перетворень користувач може натиснути на кнопку Compute (Обчислити) для розрахунку очок придатності. Очки придатності використовуються для визначення відносної придатності всіх місць для кожного майбутнього землекористування. Очки придатності обчислюється шляхом множення значення ваги кожного фактора

придатності на рейтинги придатності в конкретному місці й підсумовування результатів. Очки відображаються на карті придатності й у звітах; вони використовуються для виділення прогнозованого попиту на різні види землекористування на найбільш відповідні місця в частині аналізу Allocation (Розподіл).

Карта на рис. 15.4.4 показує придатність різних місць для нової роздрібної торгівлі під сценарій, який урахує тільки фізичні обмеження на розвиток. На противагу цьому карти придатності для розвитку роздрібної торгівлі на рис. 15.4.5 значно менше відповідних земельних ділянок, оскільки за її даними також забороняється розвиток в екологічно чутливих районах поблизу струмків.

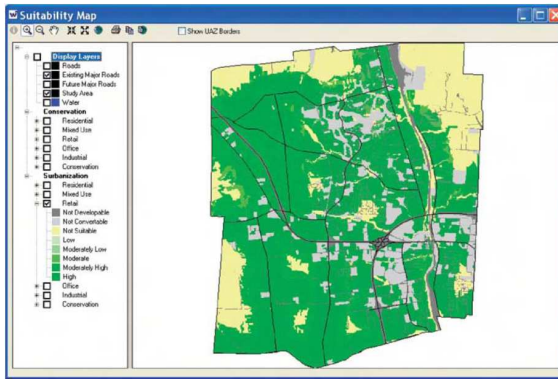


Рис. 15.4.4 – Карта придатності місць для нової роздрібної торгівлі під сценарій, який урахує тільки фізичні обмеження на розвиток

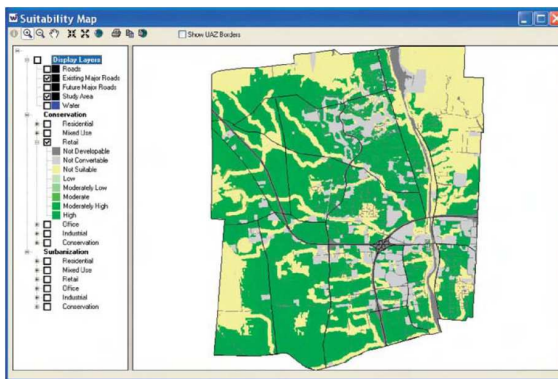


Рис. 15.4.5 – Карта придатності місць для нової роздрібної торгівлі під сценарій, який забороняє розвиток в екологічно чутливих районах поблизу струмків

Опція Потреба

СПП "Що, коли?" опція Demand (Потреба) використовується для підготовки сценаріїв, які проєктують майбутній попит на житло, пов'язаний із зайнятістю, збереженням і місцевими видами землекористування. Опція Demand (Потреба) містить чотири закладки листів.

Scenario: Low Growth

Residential | Regional | Preservation | Local

Population | Housing Units | Group Quarters

Projection: Low Growth

	2004	2010	2015	2020	2025	2030
Number of Households	7,347	7,978	8,462	8,976	9,520	10,098
Group Quarters Population	117	127	135	143	152	161
Average Household Size	2.51	2.41	2.35	2.28	2.22	2.09

Select population projection

Рис. 15.4.6 – Закладка Projections листа Residential у вікні припущень для сценарію Demand

Scenario: Low Growth

Residential | Regional | Preservation | Local

Population | Housing Units | Group Quarters

Housing Type	% of All Units		Density Units/Acre	
	Current	Future	Current	Future
Low Density Res.	64.00	60.00	0.34	1.00
Med. Density Res.	34.40	38.00	3.37	4.00
Mixed Use	1.60	2.00	36.37	40.00

Specify future percentage breakdown and densities

Рис. 15.4.7 – Закладка Housing Units листа Residential у вікні припущень для сценарію Demand

Лист Residential (Житловий) містить три закладки листів, які використовуються для визначення інформації, визначаючи прогнозований попит на житлові землі. *Перша закладка* листа Residential (рис. 15.4.6), позначена Projections (Проекції), використовується для зазначення проектного населення досліджуваної області, вікових груп населення та середнього розміру домогосподарства. *Друга закладка* листа Residential (рис. 15.4.7), позначена Housing Units (Одиниці житла), використовується для визначення майбутньої розбивки за типом житла та щільністю майбутнього житла, вакантних посад і відсотка заповнення для кожного типу житла. *Третя закладка* листа Residential, помічена Group Quarters (Вікові групи), використовується для зазначення прогнозованої чисельності населення, що проживають віковими групами (будинки пристарілих та гуртожитки коледжів).

Лист Employment (Зайнятість) використовується подібним чином, щоб вказати на припущення, які мають бути використані при розрахунку майбутнього попиту на пов'язані із зайнятістю землекористування.

Лист Preservation (Збереження) може бути використаний для зазначення кількості нових земель, які мають бути відведені для сільського господарства, консервації або відкритого простору / охорони навколишнього середовища в кожен рік проекції.

Лист Local (Місцевий) використовується для вказівки на кількість землі, що буде потрібна для тисячі нових жителів в кожному адміністративному районі для локально орієнтованих видів землекористування, таких як місцеві парки та розважальні центри, місця, розмір яких залежить від місцевого (наприклад, муніципального) населення.

Після того як всі вимоги припущень були зазначені, користувач може клацнути на кнопку "Обчислити" для розрахунку прогнозованого попиту землекористування за типом кожної проекції року. Прогнозовані значення і припущення, що лежать в конкретному сценарії попиту, представлені в письмових звітах.

Опція Розподіл

Опція Allocation (Розподіл) використовується для зазначення припущень, які використовуватимуть для проектування майбутнього використання землі району дослідження, населення та структури зайнятості. Форма припущень сценарію Розподіл містить чотири закладки листів.

Land Allocation Order (Порядок розподілу) використовується, щоб визначити порядок, у якому вимоги прогнозованого землекористування будуть розподілені за роками проєкції, тобто потреби землекористування будуть задоволені першими, потреби будуть задоволені другими й так далі.

Land Infrastructure Controls (Управління інфраструктурою) використовується для визначення впливу різних видів інфраструктур на процес розподілу. Так, користувач може вказати, що новий промисловий розвиток вимагає каналізації та водопостачання й нові комерційні розвідки мають бути розташовані поблизу основних магістралей.

Land Land Use Controls (Управління використанням землі) використовується для вибору планів землекористування чи приписів зонінгу, указавши, де різні види землекористування можуть бути виділені.

Land Growth Pattern (Модель зростання) використовується, щоб вказати на загальну просторову картину для майбутнього зростання, тобто області, які будуть розроблені першими, ті, які будуть розроблені другими й так далі, за інші рівні умови.

СПП "Що, коли?" проєктує майбутнє землекористування, населення і структуру зайнятості з розподілу потреб прогнозованого землекористування від сценарію (Demand) Потреби для різних місць на основі їхньої відносної придатності, як це визначено сценарієм Suitability (Придатність), за умови розподілу управління, зазначеної в сценарії Allocation (Розподіл). Наприклад, прогнозована потреба землекористування під житлову забудову в рік проєкції першою розподілятиметься за найбільш підходящим місцям для житлової забудови, а потім другий – прогнозована потреба другого року проєкції по найбільш підходящими житловими місцями і так далі, поки вся прогнозована потреба житлової забудови в кожній проєкції на рік буде задоволена.

Прогнозована потреба в землях, пов'язаних із зайнятістю, збереженням і місцевим використанням виділяється подібним чином. За бажання, процес розподілу можна вести відповідно до обраної користувачем місцевої політики, (виконання плану землекористування, приписів зонінгу або плану розширення інфраструктури). Так, користувач може вказати, що новий промисловий розвиток може належати тільки до областей, які заплановані для промислового використання та мають каналізації й водопостачання в конкретному році.

Карти Розподіл відображають прогнозоване землекористування в кожній проекції на рік для кожного сценарію Розподіл.

Рис. 15.4.8 показує поточне землекористування в Дубліні, штат Огайо. Карта показує істотну кількість вільних земель (показані зеленим кольором) у західній частині громади, житлової забудови (показано жовтим кольором) у центрі міста, промислового й комерційного використання розташованих поблизу міждержавного обходу (показано фіолетовим і червоним кольором).

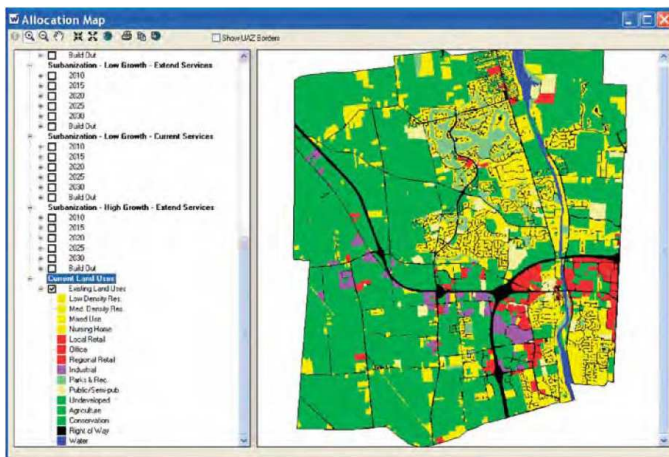


Рис. 15.4.8 – Поточне землекористування в 2006 році в Дубліні

Рис. 15.4.9 показує прогнозоване землекористування у 2030 році в Дубліні за сценарієм, який приймає сценарій розвитку придатності, сценарій помірного зростання, й не контролює майбутній розвиток. Карта ясно вказує, що з цими припущеннями істотні частини землі сільськогосподарства будуть перетворені для побутового використання менш ніж за 25 років. Інші карти розподілу показують наслідки альтернативних припущень придатності, прогнозів зростання та суспільної політики для управління зростанням.

обмежених поглядів, які лягли в основу більшої частини сучасної соціальної науки. Зокрема, проєктувальники мають відмовитися від наївних спроб використовувати "наукові" методи прогнозування непізнаного майбутнього й уникнути питань визначення "значення" того, яким майбутнє має бути. Замість цього, вони мають розглядати планування як процес громадського обговорення, аргумент, оцінки та обґрунтування, у яких питання вартості можуть бути вирішені так само, як раціонально, як питання факту.

Найголовніше, проєктувальникам слід відмовитися від патерналістських ідеалів планування для населення, що лежать в основі традицій професії дизайну і помилкового позерства ідеалу прикладної науки. Замість цього вони мають адаптувати прозоріння дизайну і прикладних аспектів науки до нових ідеалів планування з громадськими та створеними новими моделями, методами і процедурами. Таким чином, системи підтримки планування такі, як СПП "Що, коли?", можуть допомогти фахівцям із міського планування використати уроки свого минулого для використання їх у майбутньому.

15.4.2 Приклади моделювання сценаріїв "Що, коли..?" в територіального розвитку спеціалізованими засобами

Система підтримки планування "Що, коли?" застосовується на окружних, регіональних і селищних рівнях у Сполучених Штатах і в низки громад у Австралії, Китаї, Італії, Кореї, Малайзії, Іспанії та Великобританії [69].

Приклад 1. Вплив землекористування на моделювання водозбірного басейну струмка Чорної Землі за допомогою ГІС [70]

Екологічні небезпеки в басейні струмка Чорної землі

В окрузі Dane, штат Вісконсін, струмок Чорної землі природно відтворює рибальство форелі в обсязі до 1600 дикої форелі на милю потоку і перебуває в управлінні Департаменту природних ресурсів Вісконсіна (WDNR). За останні 15 років 4 млн доларів було інвестовано в галузі управління ресурсами на інструменти, такі як зберігання гною в ямах, сервітути збереження й поліпшення середовища проживання форелі. Басейн струмка Чорної землі розташований в 15 хвилинах їзди від міста Медісон з населенням

3,5 млн чоловік. Розвиток молочного стада та вихід передмістя на вододіл призводять до того, що стійкість рибальства у струмку Чорної землі стає все загрозливішою.

Напруженість у відносинах землекористування між рибальством у струмку Чорної землі, сільським господарством і розвитком урбанізації досягли кризи в червні 2001 року, коли дводюймові опади призвели до великої загибелі форелі струмка Чорної землі. У деяких сегментах струмка Чорної землі загинуло 80 відсотків форелі. Фахівці WDNR дійшли висновку, що різноманітність дифузних джерел, швидше за все, відповідальна за загибель риб: поширення гною фермерів біля струмка, сільськогосподарські пестициди, що скидаються у струмок через дренажні плитки, і міські стоки зливневих стічних вод від непроникних поверхонь.

Використання ГІС для вивчення питання

У відповідь на загибель риб Університет земельної інформації комп'ютерної графіки (Land Information and Computer Graphics Facility – LICGF) Вісконсін-Медисона вирішив вивчити використання моделювання ГІС та інструментів оцінки впливу, щоб розглянути, як зростання міст може вплинути на струмок Чорної землі в майбутньому. LICGF-дослідники змоделювали зростання заасфальтованої площі в межах різних сценаріїв розвитку, оскільки кількість водонепроникних поверхонь безпосередньо впливає на якості потоку й переважно на кількість, ніж деякі інші фактори, що впливають на здоров'я потоку.

Як тільки водозбірний басейн струмка Чорної землі буде розвиватися, а дахи, дороги та інші водонепроникні поверхні покриють більшу частину земної поверхні, менше води зможе проникнути в землю, більше стоків за більш високих температур скидатиметься у струмок, створюючи таким чином загрозу його популяції риб. Загальноприйнятим правилом є те, що здоров'я потоку починає знижуватися, коли водонепроникність поверхні досягає 10 відсотків, і стає серйозною деградованою, коли водонепроникність перевищує 30 відсотків.

Дослідники почали моделювати за допомогою цифрової моделі рельєфу (ЦМР) і ArcView розширень Spatial Analyst, Hydrological Modeling, щоб визначити водозбірний басейн, який сприяє стоку у струмок. Вододіл був визначений розміром близько 45 квадратних миль і включав території декількох юрисдикцій.

Прогнозування майбутнього землекористування

Потім дослідники LICGF використовували пакет What if?, розроблений What if?, Inc., щоб підготувати альтернативні сценарії майбутнього розвитку водозбірного басейну струмка Чорної землі. Наявна інформація про схили, відстані до доріг та існуючої забудови, ґрунти земельних угідь, відстані до струмків і болота була об'єднана в ArcView для створення повного уявлення про природні ресурси регіону.

Ця інформація була використана в СПП What if? для визначення відносної придатності різних місць для розміщення майбутнього розвитку. Інформація з перепису населення США була використана для підготовки сценаріїв імовірного населення області в 2010, 2020 і 2030 роках. СПП What if? потім була використана для прогнозування майбутніх моделей землекористування для різних щільностей розвитку. Прогнозоване додавання 1358 домашніх господарств на 2030 рік вимагає 450 акрів землі для ділянок у чверть акра, 1700 акрів для ділянок в один акр і приблизно 8000 акрів для ділянок у п'ять акрів. Прогнозовані карти землекористування за різних сценаріїв зростання були збережені як шейп-файли ArcView для використання в більш пізніх стадіях аналізу.

Кількість водонепроникної поверхні, пов'язаної з різними моделями розвитку, оцінювалося за локально визначеними коефіцієнтами водонепроникної поверхні. Водонепроникні поверхні у вигляді доріг, дахів, шляхів і гравійних кар'єрів були оцифровані за ортофотопланами з використанням ArcView 3.x. Водонепроникні поверхні комбінувалися з шаром земельних ділянок для розрахунку середнього відсотка водонепроникності для різних розмірів лота й землекористування. П'ятиакрові житлові ділянки мали в середньому 8 відсотків водонепроникних поверхонь; одноакрові житлові ділянки – коефіцієнт водонепроникності 16 відсотків, чвертьакрові житлові ділянки – коефіцієнт водонепроникності 26 відсотків. Коефіцієнти водонепроникної поверхні для комерційних ділянок, промислових ділянок і ділянок проїздів були 40, 50 і 80 відсотків відповідно.

Конструктор сценарію CommunityViz, розробленого Оптон Family Foundation (Боулдер, штат Колорадо), іншим бізнес-партнером Esri, був використаний для розробки показників для вимірювання ефектів у різних сценаріях розвитку якості потоку. Отримані коефіцієнти водонепроникності для різних видів використання земель були використані в якості змінних у формулі конструктора сценаріїв для оцінки загальної частки непроникності поверхні для різних форм землекористування. Прогнози землекористування СПП What if? були

приведені в сценарії конструктора, який потім використовувався для обчислення загального відсотка водонепроникних поверхонь, що відображається на екрані у вигляді діаграми.

Існуючий розвиток водозбірного басейну струмка Чорної землі має приблизно 4,5 відсотки водонепроникних поверхонь. Прогнозована структура землекористування на 2030 рік із чвертьаковими житловими ділянками приводять в середньому до 5,8 процентів водонепроникних поверхонь, одноаковими житловими ділянками – в середньому 6,7 процентів водонепроникних поверхонь, а також із п'ятиаковими житловими ділянками – у середньому 7, 6 процентів водонепроникних поверхонь. Ці сценарії не піддають потік значнішої небезпеки.

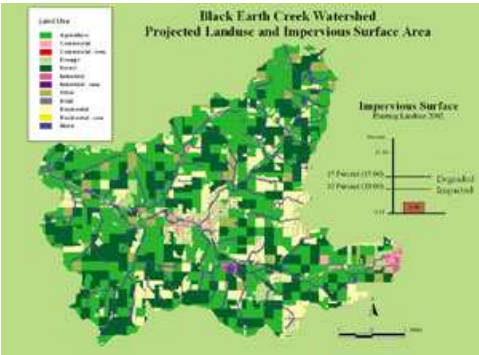


Рис. 15.4.10 – Водозбірний басейн струмка Чорної землі з 4,5 відсотками водонепроникної поверхні

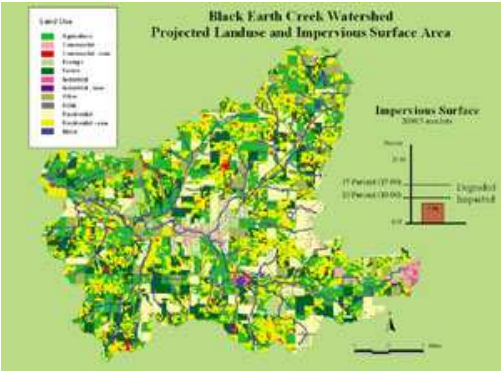


Рис. 15.4.11 – Модель сценарію водозбірного басейну струмка Чорної землі з 7,6 відсотками водонепроникної поверхні

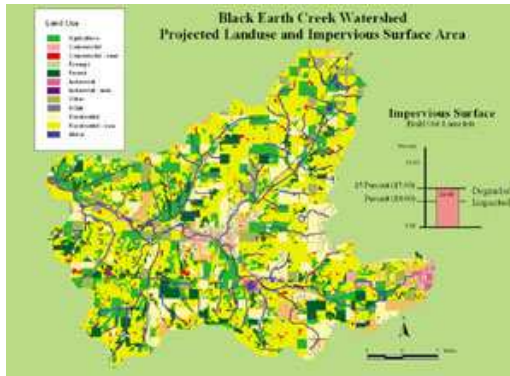


Рис. 15.4.12 – Модель сценарію водозбірному басейну струмка Чорної землі з 14,6 відсотками водонепроникної поверхні

Сценарій "Що, коли..?" на рис. 15.4.12 показує, що для водозбірного басейну струмка Чорної землі розвиток одного акра земель із використанням усіх відповідних земельних ділянок призводить до збільшення середньої водонепроникної поверхні до 14,6 відсотків, що серйозно погіршить рибальство форелі у струмку.

Сценарії того, що станеться, коли всі доступні землі будуть розроблені, вказали на те, що розвиток з п'ятиакровими житловими ділянками дасть у середньому 9 відсотків загальної водонепроникної області; одноакровими житловими ділянками – 14,6 відсотків водонепроникної поверхні; чвертьакровими житловими ділянками – 20,6 відсотка водонепроникної поверхні. У короткостроковій перспективі більш висока щільність розвитку матиме менший вплив на водозбірний басейн. Однак, коли припустити, що 10-відсоткова водонепроникність є порогом для підтримки стійкого рибальства форелі, усі три наросені сценарії пропонують проблеми в майбутньому, коли нинішні тенденції розвитку, як і раніше, лишитимуться пом'якшення наслідків.

Політичні наслідки

Результати цього ГІС-аналізу створюють стимули для реалізації політики з мінімізації наслідків майбутнього розвитку рибальства для водозбірного басейну струмка Чорної землі. Рада округу Dane штату Вісконсін нещодавно прийняла перші стандарти зливових вод для нових розробок. Ці стандарти вимагають відводити стоки зливових вод з доріг та інших водонепроникних поверхонь, що дозволяють фільтрувати викиди в землю й не замінювати витоку. Підрозділ Св.

Франциска в водозбірному басейні струмка Чорної землі є одним із перших підрозділів, що впровадив ці практики інфільтрації. Кожному будинку в підрозділі присвоєно акт обмеження на полив природного трави саду, щоб допомогти інфільтрації стоку води. Крім того, дороги в підрозділі мають середні бульварні смуги, щоб допомогти захопити дорожній стік.

Інші приклади застосування СПП What if?

Інші приклади застосування СПП What if? приведені у джерелах [71], [72], [73].

15.1. Питання та завдання для самопідготовки

- 1) Як розуміється завдання моделювання просторових сценаріїв?
- 2) Наведіть основні відомості про оцінки недостовірності результатів при моделювання просторових сценаріїв.
- 3) Наведіть приклад моделювання сценаріїв "Що, коли..?" шляхом комбінування аналітичних засобів.
- 4) Опишіть підходи до моделювання сценаріїв "Що, коли...?" спеціалізованими засобами.

ПІСЛЯМОВА

Матеріал навчального посібника становить каркас теоретичної частини базового курсу "ГІС-аналіз", до якого віднесені вихідні концепції, задачі ГІС-аналізу й аналітичні засоби. Вивчення цього теоретичного матеріалу підлягає опрацюванню та закріпленню при практичному освоєнні програмних пакетів ГІС і створенні на їхній основі ГІС-проектів. Компанія ESRI приділяє підвищену увагу популяризації ГІС-технології та впровадженню географічного мислення в навчальний процес. За оцінками аналітиків відомої компанії Daratech, Inc., програмне забезпечення ESRI займає провідні позиції у сфері освіти. Відповідно до стратегії ESRI дистриб'ютори цієї компанії реалізують довгострокову програму підтримки навчальних закладів, спрямовану на розвиток ГІС-освіти.

Навчальний посібник орієнтований на формування у фахівців початкових знань в сфері просторового аналізу засобами геоінформаційних систем і технологій. Разом із тим матеріал посібника може виявитися корисним як для студентів інших спеціальностей, так і фахівців, які впроваджують передові інформаційні технології в бізнес-процеси, при вирішенні багатьох управлінських завдань.

Сьогодні ця технологія є одним з найбільш популярних і корисних інструментів у наукових дослідженнях. ГІС – це універсальний інструмент дослідника. Функції просторового аналізу застосовується в більш ніж 100 дисциплінах, що охоплюють багато напрямків наукових і прикладних досліджень.

На закінчення слід звернути особливу увагу на одну чудову грань геоінформаційних систем і технологій. ГІС – це не просто одна з сучасних інформаційних технологій. ГІС допомагає сформувати в людей новий погляд на світ, що забезпечує його комплексне сприйняття і краще розуміння взаємозв'язків між його складниками. Це прогресивний спосіб мислення, спосіб пізнання оточуючого світу, інструмент, що сприяє перебудові нашого світогляду.

Фундаментальне розуміння ролі ГІС представлено президентом ESRI Джеком Данджермондом в статтях про географічний підхід [74], [75], яке полягає в тому, що використання географічних наук за підтримки ГІС призведе до покращення вирішення проблем, а також більш глибокому розумінню нашого світу.

"Щоб отримати більш глибоке розуміння нашого світу, нам потрібні рамки, які я називаю "географічний підхід" [74]. Географічний підхід використовує географічну науку, підтримувану географічною інформаційною системою (ГІС) у якості основи для розуміння нашого світу й застосування географічних знань для вирішення проблем і визначення напрямків поведінки людини.

Географія – це наука про наш світ, що описує фізичні й культурні моделі нашої планети і процесів. Ця наука допомагає здобути нам знання про те, що відбувається, дає прогнози того, що може статися, і надає систематичну інформацію для планування і прийняття рішень. Географія допомагає нам краще зрозуміти різні просторові явища і їхні взаємозв'язки, такі як відносини між змінами в землекористуванні, поверхневій гідрології, повенях і біорізноманітності. Це допоможе суспільству стати більш усвідомленим і обізнаним щодо того, як наше сукупне поведінка впливає на еволюцію планети.

ГІС розширює можливості географії, надаючи цифрові інструменти, які створюють геопросторові дані, моделі географічних процесів, візуалізації даних і моделі з передовою комп'ютерною технологією. ГІС допомагає нам застосовувати географічні знання для покращення нашої роботи, роблячи нашу організацію більш ефективною та підтримуючи рішення про розміщення, які вимагають розгляду багатьох географічних чинників. Наприклад, при виборі маршруту для нового шосе ГІС і географічний підхід може бути використаний для розгляду фізичних і людських чинників, якими слід керуватися для його оформлення та дизайну: навколишнього середовища, існуючого землекористування, місцевості й соціальних наслідків, а також інженерних обмежень і витрат. Облік усіх цих факторів особливо важливий, коли намагаються піти на складні компроміси. Ось де застосування ГІС є особливо цінним."

"Географічний підхід забезпечує необхідну основу для ГІС-аналізу та допомагає забезпечити точні результати, що перевіряються" [75].

БІБЛОГРАФІЧНИЙ ОПИС

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Гохман В. ГИС, ГИС, ГИС... / В. Гохман. – М. : Data +, ArcReview, № 4 (47) 2008. – с. 1, 2.
2. Шипулін, В. Д. Основні принципи геоінформаційних систем : Навч. посібник / В. Д. Шипулін ; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х. : ХНАМГ, 2010. – 326 с.
3. Митчелл Энди. Руководство по ГИС Анализу. Часть 1 : Пространственные модели и взаимосвязи / Энди Митчелл ; пер. с англ. – К., ЗАО ЕСОММ Со ; Стилос, 2000. – 198 с.
4. Іщук О. О. Просторовий аналіз і моделювання в ГІС : Навч. посібник / О. О. Іщук, М. М. Коржнев, О. Е. Кошляков; за ред. акад. Д. М. Гродзинського. – К. : Вид.-поліграфічний центр "Київський університет", 2003. – 200 с.
5. John Snow : The London Cholera Epidemic of 1854. By Scott Crosier : [Електрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.csiss.org/classics/content/8/>
6. ДеМерс М. Н. Географические информационные системы. Основы / ДеМерс М. Н. ; пер. с англ. – М. : Дата+, 1999. – 491 с.
7. Пространственный анализ / Финансовый словарь : [Електрон. ресурс]. – Режим доступа : http://dic.academic.ru/dic.nsf/fin_enc/27996.
8. Геоинформатика: учебник для студ. высш. учебн. заведений / Е. Г. Капралов, А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов и др.; под ред. В. С. Тикунова. В 2 кн. Кн1 – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Издательский центр "Академия", 2008. – 384 с.
9. Буч Гради. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на C++. Второе издание / Гради Буч ; пер. с англ ; под ред. И. Романовского и Ф. Андреева. – Калифорния. : Rational Санта-Клара, 2006. – 380 с.
10. Understanding GIS : The Arc/Info Method. – Redlands, CA : Environmental Systems Research Institute, Inc., 1990.
11. Зейлер М. Моделирование нашего мира : Руководство ESRI по проектированию базы геоданных / М. Зейлер ; пер. с англ. – М. : СП ООО Дата+, 2004. – 254 с.

12. GIS, Spatial Analysis, and Modeling / David J. Maguire, Michel Batty, and Michael F. Goodchild, editors. – ESRI Press, Redland, California, 2005, – 483 p.
13. ArcGIS 9. Using ArcGIS Spatial Analyst. – ESRI, 2002.
14. Arcgisdesktop/10.0/ help : [Електрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/htm>
15. GIS self learning tool : [Електрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.sli.unimelb.edu.au/gisweb/>.
16. Chrisman Nicholas. Exploring Geographical Information Systems. 2 edition John Wiley & Sons. – 2003. – 306 p.
17. Principles of Geographic Information Systems. Rolf A. de By (ed.). Second edition.– Enschede, The Netherlands, 2001. – 490 p.
18. Ожегов, С. И. Словарь русского языка / С. И. Ожегов. – М., Сов. энцикл. – с. 319
19. Geospatial Analysis – a comprehensive guide. 3rd edition © 2006–2011 de Smith, Goodchild, Longley // Mike de Smith – Edinburgh, Mike Goodchild – Santa Barbara, Paul Longley – London. – Matador, 2009.
20. The NCGIA Core Curriculum in GIScience / Goodchild, M F., Kemp K. K., eds. – NCGIA University of California, Santa Barbara CA., 2000. [Електрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ncgia.ucsb.edu/>.
21. Географічна інформація – Еталонна модель : Нац. стандарт України (ДСТУ ISO 19101:2002(E)). – К. : Держспоживстандарт України, 2005. – 65 с.
22. ДеМерс, М. Н. Географические информационные системы. Основы / М. Н. ДеМерс; пер. с англ. – М.: Дата+, 1999.- 491 с
23. Чоговадзе Г.Г. Информация: информация, общество, человек / Г.Г.Чоговадзе. – М.:ООО Дата+, 2003. – 320 с.
24. Using ArcMap. – ESRI, 2006. – 435 p.
25. Use of 3d City Models in E-Government overnment for Sustainable Urban Governance : [Електрон. ресурс]. – Режим доступа : http://www.wikiprogress.org/index.php/Event:Use_of_3d_City_Models_in_E-Government_for_Sustainable_Urban_Governance.
26. Аврутин, В. Д. О трехмерной модели городского пространства Санкт-Петербурга / В. Д. Аврутин, В. Ю. Руденко, А. Ю. Ломтев. – М. : Data+, ArcReview, № 4 (51) 2009.
27. Enhanced 3D City Models от NAVTEQ : [Електрон. ресурс]. – Режим доступа : http://gps-club.ru/gps_news/detail.php?ID=46682.

28. Стюарт Рич. Географические информационные системы (ГИС) для административно-хозяйственного управления / Стюарт Рич, Кевин Х. Дэвис. – IFMA Foundation. ; пер. с англ. – М. : Дата+, 2011.
29. Постоєнко О. В. Геоінформаційна система для управління складним майновим комплексом вищого навчального закладу / О. В. Постоєнко, В. Д. Шипулін. – Вчені записки ТНУ. Серія: Географія, Т. 23 (62). 2010 г. № 2. с. 242–251.
30. Three-Dimensional Visualization Tools : [Електрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.esri.com/industries/planning/business/visualization.html>.
31. 3D City Models and Oblique Imagery for Scenario Modelling : [Електрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://aamgroup.com/publications/scanning-the-horizons/2009/2009-scanning-the-horizons-engineering-design-issue/3d-city-models-and-oblique-imagery-for-scenario-modelling.cfm>.
32. Automatic generation of 3D city models and relation application: [Електронний. ресурс]. – Режим доступа : http://www.photogrammetry.ethz.ch/tarasp_workshop/papers/takase.
33. Покровский Н. Е. Путь от предметного к виртуальному и обратно : [Електрон. ресурс]. – Режим доступа : http://www.sociolog.net/virt_NPokrovsky.
34. Подберезный С. Практические результаты моделирования ЧАЭС, ОУ, Арки. – ИПБ АЭС НАН Украины: [Електрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://chornobyl.in.ua/3d-model-chaes.html>.
35. Рони Ягель. Рендеринг объемов в реальном времени: [Електрон. ресурс]. – Режим доступа : [\http://www.masters.donntu.edu.ua/2003/fvti/anoprienko/library/lib4.
36. Палеха, Ю.Н. Анализ распределения плотности населения крупнейшего города средствами ГИС / Ю. Н. Палеха, В. Д. Шипулин // Ученые записки Таврического национального университета, серия Географическая, Том 17(56) № 2 – Симферополь, 2003. – с. 46–49.
37. Шипулин, В. Д. Анализ распределения транспортных средств в Харькове [Текст] / В.Д. Шипулин, Е.С. Серединин, И. М. Патракеев // М. : DATA +, ArcReview № 2 (41). 2007.
38. The GIS Book, 5th Edition / George B. Korte. – OnWord Press, 2001. – p. 91-108.
39. GIS Analyses of Dr. Snow's Map : [Електрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.udel.edu/johnmack/frec480/cholera/cholera2.html>.

40. Annual Rainfall Amounts represented as Thiessen polygons for the State of Iowa shown below: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www4.ncsu.edu/~jssmith4/NR595Portfolio/thiessen.html>.
41. VLIZ Maritime Boundaries Geodatabase: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vliz.be/vmdcdata/marbound/methodology.php>.
42. ESRI/ Support. : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://support.esri.com/en/knowledgebase/GISDictionary/term/>.
43. Время в ArcGIS 10 / Д. А. Третьяченко. – М. : Дата+, ArcReview, № 4 (55), 2010.
44. Леонов А, Tracking Analyst. Динамическая визуализация и анализ пространственно-временных изменений / А. Леонов. – М.: Дата+, ArcReview, № 3 (30), 2004.
45. Леонов А, Tracking Server – Централизованный мониторинг в реальном времени / А. Леонов. – М. : Дата+, ArcReview, № 3 (30), 2004.
46. Hurricane Irene 2011: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://search.yahoo.com/search?ei=utf-8&fr=slv8-yie8&p=hurricane%20irene%202011&type=>.
47. Spatial pattern : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : http://www.powershow.com/view/c48a8ZjZmO/SPATIAL_PATTERN_flash_ppt_presentation.
48. Lec 15 Spatial Pattern Analyses : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://ebookbrowse.com/lec-15-spatial-pattern-analyses-pdf-d145272617>.
49. Analysing spatial point patterns in R : [Электронный. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.csiro.au/files/files/piph>.
50. Exploring Spatial Areal Patterns: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : http://www.geography.siu.edu/people/aduprah/GEOG_404_Lecture7
51. Tobler W. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. – Economic Geography, 46(2) : (1970). – p. 234–240
52. Esra Ozdenerol. Spatial Pattern: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : http://www.powershow.com/view/c48a8-ZjZmO/SPATIAL_PATTERN_flash_ppt_presentation.
53. Кащавцева, А. Ю. .Моделирование речных бассейнов средствами ГИС [Текст] / А. Ю. Кащавцева, В. Д. Шипулин – Учен. записки ТНУ им. В. И. Вернадского. Серия : "География", Т. 24 (63), № 3. 2011. – с. 85– 92

54. Меліка Л. І. Просторове моделювання кар'єру / Л. І. Меліка, В. Д. Шипулін – Учен. записки ТНУ ім. В. І. Вернадського. Серія: "Географія", Т. 24(63), № 3 2011. – с. 122– 131.
55. Assessing the Uncertainty Resulting from Geoprocessing Operations / К. Krivoruchko, С. Crawford // GIS, Spatial Analysis, and Modeling / David J. Maguire, Michel Batty, and Michael F. Goodchild, editors. – ESRI Press, Redland, California, 2005. – 483 p. – p. 67– 90.
56. If the Earth Stood Still. Modeling the absence of centrifugal force. Witold Fraczek, Esri : [Електрон. ресурс]. – Режим доступа : www.esri.com/news/arcuser/0610/nospin.html.
57. What if All the Polar Ice Melted / Paul Jordan – Esri Map Book, 25, p. 82– 83.
58. Assessing Tornado Damage Risk for Dallas-Fort Worth, Texas : [Електрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.esri.com/news/arcnews/spring01/articles/tornado-alley.html>.
59. One Hundred Ways for Fending Off Hurricane Impacts : [Електрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.esri.com/news/arcnews/summer09/articles/one-hundred-ways.html>.
60. Roy Hawkins. Domestic Consequence Management Supported with GIS : [Електрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.esri.com/news/arcnews/spring06/articles/domestic-consequence.html>.
61. Brussels International Airport Forms Evacuation Scenarios With GIS : [Електрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.esri.com/news/arcnews/spring04/articles/brussels-international.html>.
62. Goochland County Creates Emergency Management Incident Interface / Qiana Foote, Lowell Ballard. – Esri, ArcNews, Spring. – 2009.
63. Helps City Planners Visualize Development Potential. Los Angeles, California, Department of City Planning Mapping System : [Електрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.esri.com/news/arcnews/fall07/articles/los-angeles-california.html>, 2007.
64. Bringing 3D GIS to SCADA : [Електрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.esri.com/news/arcuser/1207/peoria.html>.
65. Mapping the Market to Create Healthy Banks Web portal gives better view of financial practices By Karen Richardson : [Електрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.esri.com/news/arcuser/0611/mapping-the-market-to-create-healthy-banks.html>.

66. Virtual City Template Enables 3D City Modeling : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.esri.com/news/arcnews/summer10/articles/virtual-city.html>
67. What if?™ Planning Support System : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.whatifinc.biz/>.
68. Richard E. Klosterman. A New Tool for a New Planning : The What if?™ Planning Support System // Planning Support Systems for Cities and Regions. / edited by Richard K. Brail. – Lincoln Institute of Land Policy, 2008 – p. 85-100 : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.whatifinc.biz/documentation.php>.
69. Publications : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.whatifinc.biz/publications.php>.
70. Land Use Impacts for the Black Earth Creek Watershed Modeled With GIS. Dane County, Wisconsin. By Tom McClintock. – University of Wisconsin-Madison, and Larry Cutforth, Dane County Regional Planning Commission : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.esri.com/news/arcnews/summer03/articles/land-use-impacts.html>.
71. Christopher J. Pettit. Formulating a Sustainable Development Land Use Scenario Using GIS : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.esri.com/news/arcnews/fall02/articles/formulating-sustainable.html>, 2002.
72. Farmland Preservation Policies Studied with GIS. "Proof of Concept" Focuses on Medina County, Ohio. By Richard E. Klosterman, Loren Siebert, Mohammed Ahmadul Hoque, Jung-Wook Kim, and Aziza Parveen, Department of Geography and Planning, University of Akron : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.esri.com/news/arcnews/spring02/articles/farmland.html>.
73. Planning Support Systems. GIS Supports Planning and the Public Participation Process With Planning Support Systems : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : http://www.esri.com/industries/planning/business/support_systems.htm
74. Taking the "Geographic Approach". – Esri, ArcWatch, September. – 2007 : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.esri.com/news/arcwatch/0907/feature.html>.
75. A Framework for Understanding, Managing, and Improving Our World GIS – The Geographic Approach. By Jack Dangermond. – Esri, ArcNews Online, Fall, 2007 : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.esri.com/news/arcnews/fall07/articles/gis-the-geographic-approach.html>.

РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ

Основні джерела

1. ДеМерс М. Н. Географические информационные системы. Основы / М. Н. ДеМерс; пер. с англ. – М. : Дата+, 1999. – 491 с.
2. Ішук, О.О. Просторовий аналіз і моделювання в ГІС : Навч. посібник / О. О. Ішук, М. М. Коржнев, О. Е. Кошляков; за ред. акад. Д. М. Гродзинського. – К. : Вид.-поліграф. центр "Київський університет", 2003. – 200 с.
3. Шипулін, В. Д. Основні принципи геоінформаційних систем: Навч. посібник / В. Д. Шипулін; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2010. – 326 с.
4. Митчелл Энди. Руководство по ГИС Аналізу. Часть 1 : Пространственные модели и взаимосвязи / Энди Митчелл; пер. с англ. – К., ЗАО ECOMM Со; Стилос, 2000. – 198 с.

Додаткові джерела

1. Зейлер М. Моделирование нашего мира : Руководство ESRI по проектированию базы геоданных / М. Зейлер ; пер. с англ. – М. : СП ООО Дата+, 2004. – 254 с.
2. Spatial Analyst. Руководство пользователя / пер. с англ. – М. : СП ООО Дата+, 2004.
3. Geostatistical Analyst. Руководство пользователя / пер. с англ. – М. : СП ООО Дата+, 2004.
4. 3D Analyst. Руководство пользователя / пер. с англ. – М. : СП ООО Дата+, 2004.
5. Spatial Analyst Tutorial / Arcgisdesktop 10.0, help. – Esri, 2010.
6. Geostatistical Analyst Tutorial / Arcgisdesktop/10.0/ help. – Esri, 2010.
7. Network Analyst Tutorial / Arcgisdesktop/10.0/ help. – Esri, 2010.
8. 3D Analyst Tutorial / Arcgisdesktop/10.0/ help. – Esri, 2010.

Навчальне видання

ШИПУЛІН Володимир Дмитрович

ОСНОВИ ГІС-АНАЛІЗУ

Навчальний посібник

Редактори
Комп'ютерне верстання
Дизайн обкладинки

*О. В. Тарасюк, К. В. Дюкар
Є. Г. Панова
Т. Є. Ключко*

Підп. до друку 20.09.2012 р.
Друк на ризографі
Тираж 500 пр.

Формат 60х84 /16
Ум. друк. арк. 13,4
Зам. №

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4705 від 28.03.2014